

Утверждены приказом Начальника
Агентства «Туркменховаеллары» Агентства
Транспорта и Коммуникаций при Кабинете
Министров Туркменистана
№ 193/18 от « 11 » 09 2023г.

**ГОСУДАРСТВЕННЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ПРАВИЛА
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ТУРКМЕНИСТАНА
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ТОМ II – ЭМИСИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Ашхабад 2023г.

ЛИСТ ПОПРАВКИ И ИСПРАВЛЕНИЙ

[illegible]

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I.	Определения и условные обозначения	3
Часть II.	Выброс топлива	6
Часть III.	Сертификация по эмиссии	7
Часть IV.	Оценка нелетучих твердых частиц в целях составления кадастра и моделирования	30
Добавление 1.	Измерение исходной степени повышения давления	31
Добавление 2.	Оценка эмиссии дыма	32
Добавление 3.	Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ	42
Дополнение А к добавлению 3.	Технические требования к анализатору нс	60
Дополнение Б к добавлению 3.	Технические требования к анализаторам со и со ₂	64
Дополнение В к добавлению 3.	Технические требования к анализатору пох	68
Дополнение Г к добавлению 3.	Тарировочные и испытательные газы	71
Дополнение Д к добавлению 3.	Расчет параметров эмиссии: основные положения, внесение поправок в результаты измерения и альтернативный числовой метод	73
Дополнение Е к добавлению 3.	Требования в отношении дополнительных данных	79
Добавление 4.	Технические требования к топливу, используемому при проведении испытаний авиационных газотурбинных двигателей на эмиссию	81
Добавление 5.	Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ при использовании газотурбинных двигателей с форсажной камерой	82
Дополнение А к добавлению 5.	Технические требования к анализатору нс	102
Дополнение Б к добавлению 5.	Технические требования к анализаторам со и со ₂	106
Дополнение В к добавлению 5.	Технические требования к анализатору пох	110
Дополнение Г к добавлению 5.	Тарировочные и испытательные газы	113
Дополнение Д к добавлению 5.	Расчет параметров эмиссии: основные положения, внесение поправок в результаты измерения и альтернативный числовой метод	115
Дополнение Е к добавлению 5.	Требования в отношении дополнительных данных	122

Добавление 6. Порядок демонстрации соответствия по эмиссии газообразных веществ, эмиссии дыма и твердых частиц	123
Добавление 7. Приборы и методы измерения эмиссии нелетучих твердых частиц	127
Дополнение А к добавлению 7. Требования и рекомендации, касающиеся системы отбора проб нлтч	153
Дополнение Б к добавлению 7. Технические требования, касающиеся приборов для определения массы нлтч и их тарировки	161
Дополнение В к добавлению 7. Технические требования, касающиеся уловителя летучих частиц, прибора для определения числа нлтч и их тарировки	175
Дополнение Г к добавлению 7. Технические требования в отношении дополнительных данных	176
Дополнение Д к добавлению 7. Правила пользования системой	180
Добавление 8. Процедуры оценки поправок на потери нлтч в системе	190

Международные стандарты и рекомендуемая практика

ЧАСТЬ I. Определения и условные обозначения

ГЛАВА I. Определения

АГАТ - Администрация гражданской авиации Туркменистана – Агентство «Туркменховаеллары» Агентства Транспорта и коммуникаций при Кабинете Министров Туркменистана.

Агентство – Агентство Транспорта и коммуникаций при Кабинете Министров Туркменистана.

Базовая степень повышения давления. Отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора на режиме, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в стратегических условиях МСА на уровне моря.

Примечание. Методы измерения базовой степени повышения давления приводятся в добавлении 1.

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.

Государство разработчика. Государство, обладающее юрисдикцией в отношении организации, ответственной за конструкцию типа.

Дата изготовления. Дата выпуска документа, удостоверяющего, что конкретное воздушное судно или двигатель соответствуют требованиям, предъявляемым к данному типу, или дате выпуска аналогичного документа.

Дым. Содержащиеся в выхлопных газах углеродистые вещества, которые препятствуют прохождению света.

Нелетучие твердые частицы (нлТЧ). Испускаемые частицы, присутствующие в

выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры 350 °С не испаряются.

Несгоревшие углеводороды. Общее количество содержащихся в пробе газа углеводородных соединений всех классов и молекулярных весов, вычисленное при условном предположении, что они находятся в пробе в виде метана.

Окислы азота. Суммарное количество окиси азота и двуокиси азота, содержащееся в пробе газа, которое вычислено на основе предположения, что окись азота находится в виде двуокиси азота.

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.

Расчетная тяга. В целях нормирования эмиссии это – максимальная взлетная тяга, утвержденная сертифицирующим органом для использования в нормальных эксплуатационных условиях, т. е. при МСА на уровне моря в статических условиях и без использования впрыска воды. Тяга выражается в килоньютонах.

Руление – земной малый газ. Эксплуатационный этап, включающий выполнение руления и работу на режиме малого газа от начального момента запуска основного(ых) двигателя(ей) и до начала разбега для взлета и от момента выруливания с ВПП до полной остановки основного(ых) двигателя(ей).

Сертификат типа. Документ, выданный Договаривающимся государством для определения конструкции типа воздушного судна, двигателя или воздушного винта и подтверждения того, что эта конструкция отвечает соответствующим нормам летной годности данного государства.

Форсирование тяги (форсаж). Режим работы двигателя, при котором питание системы сгорания обеспечивается (полностью или частично) за счет подачи воздуха, содержащего несгоревшее топливо.

Число дымности. Безразмерная величина, характеризующая уровень дымления (см. §7 добавления 2).

Этап взлета. Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого

двигатель работает на режиме расчетной тяги.

Этап захода на посадку. Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого двигатель работает в эксплуатационном режиме захода на посадку.

Этап набора высоты. Этап полета, определяемый периодом времени, в течение которого двигатель работает в эксплуатационном режиме набора высоты.

ГЛАВА II. Условные обозначения

нлТЧ Нелетучие твердые частицы (см. определение)

СО Окись углерода

D_p Масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете

F_n Тяга в условиях международной стандартной атмосферы (МСА) на уровне моря для данного эксплуатационного режима

F_{oo} Расчетная тяга (см. определение)

F^*_{oo} Расчетная тяга при использовании форсажа НС Несгоревшие углеводороды (см. определение) **NO** Окись азота.

NO₂ Двуокись азота

NO_x Окислы азота (см. определение) **SN** Число дымности (см. определение)

π_{oo} Базовая степень повышения давления (см. определение)

ЧАСТЬ II. Выброс топлива

ГЛАВА I. Административные вопросы

1. Положения настоящих Государственных авиационных правил гражданской авиации Туркменистана (далее ГАПГАТ) применимы ко всем воздушным судам с газотурбинными двигателями, занятыми в международной аэронавигации, которые изготовлены после 18 февраля 1982 года.

2. В том случае, когда Туркменистан является государством разработчика, Сертификация, связанная с предотвращением намеренного выброса топлива, производится АГАТ на основе достаточных доказательств того, что данное воздушное судно или авиационный двигатель отвечает требованиям главы II.

Примечание. Документ, удостоверяющий сертификацию по выбросу топлива, по форме может представлять собой отдельное удостоверение о сертификации по выбросу топлива или соответствующее указание в другом документе, утвержденном полномочным сертифицирующим органом.

3. АГАТ признает действительной сертификацию по выбросу топлива, произведенную полномочным сертифицирующим органом другого государства, при условии, что требования, в соответствии с которыми производилась сертификация, являются не менее строгими, чем те, которые содержатся настоящих ГАПГАТ.

ГЛАВА II. Предотвращение намеренного выброса топлива

4. Воздушные суда конструируются и изготавливаются таким образом, чтобы предотвратить преднамеренный выброс в атмосферу жидкого топлива из соплового коллектора в процессе остановки двигателя по завершении нормального полета или операций на земле.

ЧАСТЬ III. Сертификация по эмиссии

ГЛАВА I. Административные вопросы

5. Положения ч.6 – ч.9 главы I части III применимы ко всем двигателям и их производным вариантам, включенным в классификации, которые определены в главах II, III и IV для целей сертификации эмиссии, когда эти двигатели установлены на воздушных судах, занятых в международной авионавигации.

6. Сертификация по эмиссии производится АГАТ на основе достаточных доказательств того, что данный двигатель отвечает требованиям, которые по крайней мере равноценны по жесткости положениям настоящих ГАПГАТ. При применении правила, содержащегося в добавлении 6, демонстрируется соответствие уровням эмиссии, указанным в главах II и III.

7. Документ, удостоверяющий сертификацию каждого отдельного двигателя по эмиссии, включает по крайней мере следующую информацию, относящуюся к данному типу двигателя:

- 1) название полномочного сертифицирующего органа;
- 2) заводское обозначение типа и модели двигателя;
- 3) указание любых дополнительных модификаций, введенных с целью приведения в соответствие с применяемыми требованиями к сертификации по эмиссии;
- 4) данные о расчетной тяге;
- 5) базовую степень повышения давления;
- 6) указание о соблюдении требований к числу дымности;
- 7) указание о соблюдении требований к загрязнению газообразными веществами.
- 8) указание о соблюдении требований к твердым частицам.

8. АГАТ признает действительной сертификацию по эмиссии, произведенную полномочным сертифицирующим органом другого государства, при условии, что требования, в соответствии с которыми производилась сертификация, являются не менее строгими, чем положения, содержащиеся в настоящих ГАПГАТ.

9. В отношении двигателей АГАТ признает действительными исключения, предоставленные компетентным полномочным органом другого государства, обладающего юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, при условии использования приемлемого процесса.

10. Если в настоящих ГАПГАТ не указано иное, то датой, которая должна использоваться АГАТ для определения начала применения Стандартов настоящего Правила, является дата подачи заявки на сертификат типа для двигателей типа или модели государству разработчика, или дата подачи заявки в рамках аналогичной процедуры подачи заявки, установленной сертифицирующим полномочным органом государства разработчика.

11. Заявка на сертификат типа для двигателей типа или модели действует в течение периода, указанного в обозначении в нормах летной годности, соответствующем двигателю типа или модели, за исключением особых случаев, когда сертифицирующий орган соглашается с продлением данного периода. В тех случаях, когда такой период действия превышен и его продление утверждено, датой, которая должна использоваться для определения начала применения Стандартов настоящего Правила, является дата выдачи сертификата типа или утверждения изменения в конструкции типа или дата выдачи утверждения в рамках аналогичной процедуры, установленной государством разработчика, за вычетом этого периода действия.

ГЛАВА II. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях

§1. Общие положения

12. Применимость. Содержащиеся в настоящей главе ГАПГАТ применяются в отношении всех турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях, как это указано в §3 главы II части III и §4 главы II части III, за исключением тех случаев, когда АГАТ или компетентный полномочный орган, обладающий юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, делает исключение в отношении:

- 1) 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;
- 2) ограниченного количества двигателей в пределах конкретного периода времени, изготовленных после дат, оговоренных в §3 главы II части III и §4 главы II части III, в отношении изготовления первого серийного образца двигателя.

13. В таких случаях, когда АГАТ или компетентным полномочным органом, обладающим юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, выдается документ, подтверждающий исключение, а на табличку с обозначением двигателя наносится надпись "ОСВОБОЖДЕН", причем предоставление такого исключения фиксируется в постоянном формуляре двигателя. АГАТ или компетентный полномочный орган, обладающий юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, учитывает количество подпадающих под исключения двигателей, которые будут произведены, и их воздействие на окружающую среду. Информация об исключениях сопровождается указанием серийного номера двигателя, а доступ к ней обеспечивается через официальный реестр общего пользования.

Рекомендация. При предоставлении такого исключения сертифицирующему полномочному органу или компетентным полномочным органам, под чьей юрисдикцией находится организация, отвечающая за производство двигателей, следует рассмотреть вопрос о введении предельно допустимого срока для производства таких двигателей.

Примечание. Дополнительный инструктивный материал по предоставлению исключений содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

14. Положения настоящей главы ГАПГАТ применяются также к двигателям, предназначенным для применения в таких областях, в которых в ином случае можно было бы использовать турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, которые сконструированы как интегрированная силовая установка и сертифицированы по расчетной тяге.

15. Рассматриваемая эмиссия. В целях сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии:

дыма;

газообразных веществ:

несгоревших углеводородов (НС); окиси углерода (СО);

окислов азота (NO_x).

16. Единицы измерения. При измерении эмиссии дыма результаты измерения выражаются и сообщаются через число дымности (SN).

17. Масса (D_p) газообразных загрязняющих веществ НС, СО или NO_x, выделяемых в атмосферу в течение стандартного взлетно-посадочного цикла (LTO), определение которого дается в ч.19 §2 главы II и ч.20 §2 главы II части III, измеряется и сообщается в граммах.

§2. Стандартные условия

18. Атмосферные условия. За стандартные атмосферные условия применительно к характеристикам двигателей принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная влажность принимается равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

19. Установка режимов тяги. Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения характерных для данного двигателя уровней эмиссии газообразных веществ и дыма, с тем чтобы можно было определить массу эмиссии и число дымности при работе двигателя на следующих согласованных с сертифицирующим органом конкретных значениях расчетной тяги (в процентах):

Эксплуатационный режим цикла LTO

Величина тяги

Взлет	100 % F_{oo}
Набор высоты	85 % F_{oo}
Заход на посадку	30 % F_{oo}

Руление/режим земного малого газа 7 % F_{oo}

20. Эмиссия при стандартном взлетно-посадочном цикле ЛТО. Для расчета и сообщения данных об эмиссии газообразных веществ при стандартном цикле ЛТО используются следующие периоды работы на каждом эксплуатационном режиме.

<i>Эксплуатационный режим ЛТО</i>	<i>Время работы в эксплуатационном режиме (в минутах)</i>
Взлет	0,7
Набор высоты	2,2
Заход на посадку	4,0
Руление/режим земного малого газа	26,0

21. Характеристики топлива. Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

22. Условия испытаний. Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

23. Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

24. Когда условия испытаний отличаются от стандартных атмосферных условий, указанных в ч.18 §2 главы II части III, результаты испытаний на газообразную эмиссию приводятся к стандартным атмосферным условиям в соответствии с процедурами, указанными в добавлении 3.

§3. Дым

25. Применимость. Положения ч.26 §3 главы II части III применяются:

- 1) к двигателям, изготовленным 1 января 1983 года или позже, но до 1 января 2023 года;
- 2) к двигателям с максимальной расчетной тягой менее или равной 26,7 кН, изготовленным 1 января 2023 года или после этой даты.

26. Нормативное число дымности. Число дымности на любом из четырех эксплуатационных режимов тяги цикла ЛТО, измеренное и вычисленное в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 2, или эквивалентными процедурами, утвержденными сертифицирующим органом, и приведенное к характерному уровню с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышает значений, определенных по следующей формуле:

Нормативное число дымности = $83,6 (F_{oo})^{-0,274}$
или величина 50, в зависимости от того, какое из этих значений меньше.

§4. Эмиссия газообразных веществ

27. Применимость. Положения ч.28 §4 главы II части III применены к двигателям с расчетной тягой более 26,7 кН, которые изготовлены 1 января 1986 года или позже, с учетом дополнительных требований в отношении окислов азота.

28. Нормативные уровни. Уровни эмиссии газообразных веществ, измеренные и вычисленные в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 3, или эквивалентными процедурами, утвержденными сертифицирующим органом, и приведенные к характерным уровням с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышают нормативных уровней, определенных по следующей формуле:

углеводороды (HC): $D_p / F_{oo} = 19,6$; окись углерода (CO): $D_p / F_{oo} = 118$; окислы азота (NOx):

1) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен до 1 января 1996 года и конкретный экземпляр которых изготовлен до 1 января 2000 года:

$$D_p / F_{oo} = 40 + 2\pi_{oo};$$

2) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 1996 года или после этой даты или конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2000 года или после этой даты.

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo};$$

3) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2004 года или после этой даты:

а) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 19 + 1,6\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 37,572 + 1,6\pi_{oo} - 0,2087F_{oo};$$

б) для двигателей со степенью превышения давления более 30, но менее 62,5:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 7 + 2,0\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 42,71 + 1,4286\pi_{oo} - 0,4013F_{oo} + 0,00642\pi_{oo} \square F_{oo};$$

в) для двигателей со степенью повышения давления 62,5 или более:

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo};$$

4) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2008 года или после этой даты или конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2013 года или после этой даты:

а) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 16,72 + 1,4080\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 38,5486 + 1,6823\pi_{oo} - 0,2453F_{oo} - 0,00308\pi_{oo}F_{oo};$$

б) для двигателей со степенью повышения давления более 30, но менее 82,6:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = -1,04 + 2,0\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 46,1600 + 1,4286\pi_{oo} - 0,5303F_{oo} + 0,00642\pi_{oo}F_{oo};$$

в) для двигателей со степенью повышения давления 82,6 или более:

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,60\pi_{oo};$$

5) для двигателей типа или модели, первый серийный образец которых изготовлен 1 января 2014 года или после этой даты и в отношении которых заявка на сертификат типа была подана до 1 января 2023 года:

а) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 7,88 + 1,4080\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 40,052 + 1,5681\pi_{oo} - 0,3615F_{oo} - 0,0018\pi_{oo}F_{oo};$$

б) для двигателей со степенью повышения давления более 30, но менее 104,7:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = -9,88 + 2,0\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 41,9435 + 1,505\pi_{oo} - 0,5823F_{oo} + 0,005562\pi_{oo}F_{oo};$$

в) для двигателей со степенью повышения давления 104,7 или более:

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}.$$

б) для двигателей типа или модели, в отношении которых заявка на сертификат типа была подана 1 января 2023 года или после этой даты:

а) для двигателей со степенью повышения давления 30 или менее:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 7,88 + 1,4080\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 40,052 + 1,5681\pi_{oo} - 0,3615F_{oo} - 0,0018\pi_{oo}F_{oo};$$

б) для двигателей со степенью повышения давления более 30, но менее 104,7:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = -9,88 + 2,0\pi_{oo};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не более 89,0 кН:

$$D_p / F_{oo} = 41,9435 + 1,505\pi_{oo} - 0,5823F_{oo} + 0,005562\pi_{oo} F_{oo};$$

в) для двигателей со степенью повышения давления 104,7 или более:

$$D_p / F_{oo} = 32 + 1,6\pi_{oo}.$$

§5. Требуемая информация

29. Требуемая информация подразделяется на три группы: 1) общая информация для определения характеристик двигателя, используемого топлива и метода анализа данных; 2) данные, полученные при испытании(ях) двигателя(ей), 3) полученные при испытании двигателя результаты расчетов.

30. Общая информация. Для каждого типа двигателя, который подлежит сертификации по дыму или эмиссии газообразных веществ, представляется следующая информация:

- 1) обозначение двигателя;
- 2) расчетная тяга (в кН);
- 3) исходная степень повышения давления;
- 4) стандартные характеристики топлива;
- 5) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- 6) методы сбора данных;
- 7) метод внесения поправок на окружающие условия;
- 8) метод анализа данных.

31. Информация об испытании. По каждому двигателю, испытываемому в целях сертификации на режимах тяги, указанных в ч.19 §2 главы II части III, представляется перечисленная ниже информация. В соответствующих случаях эта информация представляется после приведения ее к стандартным окружающим условиям:

- 1) расход топлива (кг/с);
- 2) индекс эмиссии (г/кг) для каждого газообразного загрязнителя;
- 3) измеренное число дымности.

32. Производная информация. По каждому испытываемому в целях сертификации двигателю представляется следующая производная информация:

- 1) интенсивность эмиссии, т. е. индекс эмиссии, умноженный на расход топлива (г/с) для каждого газообразного загрязнителя;
- 2) общий объем эмиссии каждого газообразного загрязнителя, замеренный по циклу ЛТО (в граммах);
- с) значение D_p / F_{oo} для каждого газообразного загрязнителя (г/кН);
- 3) максимальное число дымности.

33. Характерные уровни эмиссии газообразных загрязнителей и число дымности
представляются для каждого сертифицируемого типа двигателей.

ГЛАВА III. Турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, предназначенные для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях

§1. Общие положения

34. Применимость. Содержащиеся в настоящей главе ГАПГАТ применяются в отношении всех турбореактивных и турбовентиляторных двигателей, предназначенных для обеспечения полетов на сверхзвуковых скоростях и изготовленных 18 февраля 1982 года или позже.

35. Эмиссии, подлежащие нормированию. С целью сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии: дыма; газообразных веществ: несгоревших углеводородов (НС); окиси углерода (СО); окислов азота (NO_x).

36. Единицы измерения. Результаты измерения эмиссии дыма выражаются и сообщаются через число дымности (SN).

37. Масса (D_p) газообразных загрязняющих веществ НС, СО или NO_x, выделяемых в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете (LTO), определенного в ч.40 §2 главы III части III и ч.41 §2 главы III части III, измеряется и сообщается в граммах.

38. Обозначения. В настоящей главе обозначение F^*_{oo} должно заменяться на F_{oo} для двигателей, которые не применяют форсаж. Когда дается характеристика режима руления или малого газа на земле, обозначение F_{oo} используется во всех случаях.

§2. Стандартные условия

39. Атмосферные условия. За стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

40. Установка режимов тяги. Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения характерных для данного двигателя уровней эмиссии газообразных веществ и дыма, с тем чтобы можно было определить массу эмиссии

газообразных веществ и число дымности, скорректированные относительно стандартных окружающих условий, при работе двигателя на следующих согласованных с сертифицирующим органом конкретных значениях расчетной мощности (в процентах):

<i>Эксплуатационный режим</i>	<i>Режим тяги</i>
Взлет	100 % F^*_{oo}
Набор высоты	65 % F^*_{oo}
Снижение	15 % F^*_{oo}
Заход на посадку	34 % F^*_{oo}
Руление/режим малого газа на земле	5,8 % F_{oo}

41. Стандартный цикл эмиссии при посадке и взлете (LTO). В целях вычисления и представления данных об эмиссии газообразных веществ стандартный цикл эмиссии при посадке и взлете (LTO) соответствует следующему времени работы в каждом эксплуатационном режиме.

<i>Эксплуатационный режим LTO</i>	<i>Время работы в эксплуатационном режиме (в минутах)</i>
Взлет	1,2
Набор высоты	2,0
Снижение	1,2
Заход на посадку	2,3
Руление/режим малого газа на земле	26,0

42. Характеристики топлива. Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4. Топливо не содержит присадок, используемых для подавления дыма (таких как металлоорганические соединения).

43. Условия испытаний. Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

44. Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

45. С целью определения уровней эмиссии измерения при тяге, величины которой указаны в ч.40 §2 главы III части III, выполняются на обычно используемом уровне форсажа.

46. Когда условия испытания отличаются от стандартных условий, указанных в §2 главы III части III, результаты испытаний приводятся к стандартным условиям в соответствии с процедурами, указанными в добавлении 5.

§3. Дым

47. Нормативное число дымности. Число дымности на любом установленном режиме тяги, измеренное и вычисленное в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 2, и приведенное к характерному уровню с помощью правил, содержащихся в добавлении 6, не превышает нормативного уровня, определенного по следующей формуле:

48. Нормативное число дымности = $83,6 (F^*_{oo})^{0,274}$
или значение 50, в зависимости от того, какое из этих значений меньше.

§4. Эмиссия газообразных веществ

49. Нормативные уровни. Уровни эмиссии газообразных веществ, измеренные и вычисленные в соответствии с правилами, содержащимися в добавлении 3 или добавлении 5, и приведенные к характерным уровням с помощью содержащихся в добавлении 6 правил, не превышают нормативных уровней, определенных по следующей формуле:

углеводороды (HC): $D_p/F^*_{oo} = 140(0,92)^{\pi}$; окись углерода (CO): $D_p/F^*_{oo} = 4550(\pi_{oo})^{-1,03}$;

окислы азота (NO_x): $D_p/F^*_{oo} = 36 + 2,42 \pi_{oo}$.

Примечание. Характерный уровень числа дымности или эмиссии газообразных загрязнителей является средним значением результатов всех опробованных двигателей, измеренных и скорректированных относительно исходного стандартного двигателя и исходных окружающих условий, поделенных на

коэффициент, соответствующий количеству опробованных двигателей, как это указано в добавлении 6

§5. Требуемая информация

50. Требуемая информация подразделяется на три группы: 1) общая информация для определения характеристик двигателя, используемого топлива и метода анализа данных; 2) данные, полученные при испытании(ях) двигателя(ей); 3) полученные при испытании двигателя результаты расчетов.

51. По каждому типу двигателя, который подлежит сертификации по эмиссии, представляется следующая информация:

- 1) обозначение двигателя;
- 2) расчетная тяга (в кН);
- 3) расчетная тяга при использовании, в случае необходимости, форсажа (в кН);
- 4) исходная степень повышения давления; е) стандартные характеристики топлива;
- 5) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- 6) методы сбора данных;
- 7) методы внесения поправок относительно окружающих условий;
- 8) метод анализа данных.

52. Информация об испытаниях. По каждому двигателю, испытываемому в целях сертификации на указанных в ч.40 §2 главы III части III режимах тяги, представляется перечисленная ниже информация. В соответствующих случаях эта информация представляется после приведения ее к стандартным окружающим условиям:

- 1) расход топлива (кг/);
- 2) индекс эмиссии (г/кг) для каждого газообразного загрязнителя; с) процентное увеличение тяги при форсаже;
- 3) измеренное число дымности.

53. Производная информация. По каждому испытываемому в целях сертификации двигателю представляется следующая производная информация:

- 1) интенсивность эмиссии, т. е. индекс эмиссии, умноженный на расход топлива (г/с) для каждого газообразного загрязнителя;
- 2) общий объем эмиссии каждого газообразного загрязнителя, замеренный по циклу LTO (в граммах);
- 3) значения D_p / F^*_{oo} для каждого газообразного загрязнителя (г/кН);
- 4) максимальное число дымности.

54. Каждый тип двигателя, для которого запрашивается сертификат на эмиссию, должен быть снабжен характерным числом дымности и уровнями эмиссии газообразных загрязнителей.

ГЛАВА IV. Эмиссия твердых частиц

§ 1. Общие положения

55. Применимость. Содержащиеся в настоящей главе ГАПГАТ применяются в отношении всех авиационных двигателей, как далее указано в §3 главы IV части III, предназначенных для обеспечения полетов только на дозвуковых скоростях.

56. Конкретные положения для соответствующих категорий двигателей применяются в соответствии с материалом в §3 главы IV части III, за исключением случаев, когда АГАТ или компетентный полномочный орган, обладающий юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, дает освобождение в отношении ограниченного количества двигателей в пределах конкретного периода времени, изготовленных после дат, оговоренных §3 главы IV части III, в отношении изготовления конкретного экземпляра двигателя.

57. В таких случаях АГАТ или компетентным полномочным органом, обладающим юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, выдается документ, подтверждающий такое освобождение, а на табличку с обозначением двигателя наносится надпись: "ОСВОБОЖДЕН", причем предоставление такого освобождения фиксируется в постоянном формуляре двигателя. Сертифицирующий полномочный орган или компетентный полномочный орган, обладающий юрисдикцией над организацией, ответственной за производство двигателей, учитывает количество подпадающих под освобождение двигателей, которые будут произведены, и их воздействие на окружающую среду. Информация об освобождениях сопровождается указанием серийного номера двигателя, а доступ к ней обеспечивается через официальный реестр общего пользования.

***Рекомендация.** При предоставлении такого освобождения сертифицирующему полномочному органу или компетентным полномочным органам, под чьей юрисдикцией находится организация, отвечающая за производство двигателей, следует рассмотреть вопрос о введении предельно допустимого срока для производства таких двигателей.*

***Примечание.** Дополнительный инструктивный материал о предоставлении освобождений содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).*

58. Рассматриваемая эмиссия. Цель настоящего раздела заключается в нормировании массовой эмиссии нелетучих твердых частиц (нЛТЧ).

59. Единицы измерения. Массовая концентрация нлТЧ измеряется и сообщается в мкг/м^3 .

60. Масса нлТЧ, выпускаемых в течение стандартного взлетно-посадочного цикла (LTO), как определено ч.63 §2 главы IV части III (LTO_{mass}), измеряется и сообщается в мг.

61. Число нлТЧ, выпускаемых в течение стандартного взлетно-посадочного цикла (LTO), как определено в ч.63 §2 главы IV части III (LTO_{num}), измеряется и сообщается в числе частиц.

§ 2. Стандартные условия

62. Атмосферные условия. За стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная влажность принимается равной $0,00634 \text{ кг воды/кг сухого воздуха}$.

63. Эмиссия при стандартном взлетно-посадочном цикле (LTO). Испытания двигателя производятся на режимах тяги, достаточных для определения эмиссии нлТЧ двигателя, с тем чтобы можно было установить массовые индексы эмиссии (EI_{mass}) нлТЧ и численные индексы эмиссии (EI_{num}) нлТЧ на режимах тяги при стандартном LTO и режимах тяги, создающих максимальную массовую концентрацию нлТЧ, максимальный EI_{mass} и максимальный EI_{num} , как это согласовано с сертифицирующим полномочным органом. Для расчета и представления информации об эмиссии нлТЧ стандартный цикл LTO представляется в виде следующих величин тяги и времени работы на каждом указанном эксплуатационном режиме:

<i>Эксплуатационный режим LTO</i>	<i>Величина тяги % F_{oo}</i>	<i>Время в эксплуатационном режиме мин</i>
Взлет	100	0,7
Набор высоты	85	2,2
Заход на посадку	30	4,0
Руление/режим земного малого газа	7	26,0

64. Характеристики топлива. Характеристики используемого при испытаниях топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

65. Условия испытаний. Во время испытаний двигатель устанавливается на испытательном стенде.

66. Двигатель представляет собой типичный образец сертифицированной конфигурации (см. добавление 6); отводящие каналы для отбора воздуха и вспомогательные нагрузки, не имеющие отношения к основной работе двигателя, не моделируются.

67. Когда условия испытаний отличаются от стандартных атмосферных условий, указанных в ч.62 §2 главы IV части III, EI_{mass} и EI_{num} приводятся к температуре на входе в камеру сгорания двигателя при стандартных атмосферных условиях согласно процедурам, указанным в добавлении 7.

68. В значения максимальной массовой концентрации нлТЧ вносятся поправки на разбавление и термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб согласно процедурам в добавлении 7. В EI_{mass} и EI_{num} вносятся поправки на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб и на состав топлива согласно процедурам в добавлении 7.

§ 3. Эмиссия нелетучих твердых частиц

69. Применимость. Положения, указанные ниже в ч.71 §3 главы IV части III и ч.74 §3 главы IV части III, применяются ко всем турбовентиляторным и турбореактивным двигателям типа или модели с расчетной тягой более 26,7 кН.

70. Положения настоящей главы применяются также к двигателям, предназначенным для применения в таких областях, в которых в ином случае можно было бы использовать турбореактивные и турбовентиляторные двигатели, которые сконструированы как интегрированная силовая установка и сертифицированы по расчетной тяге.

71. Нормативные уровни. *Максимальная массовая концентрация нлТЧ.* В отношении двигателя, конкретный экземпляр которого изготовлен 1 января 2020 года или после этой даты, максимальная массовая концентрация нлТЧ, полученная в результате измерения при достаточных режимах тяги таким образом, чтобы можно было определить и рассчитать максимальное значение эмиссии в соответствии с процедурами добавления 7 и перевести в характерные уровни согласно процедурам добавления 6 или эквивалентным процедурам, согласованным с сертифицирующим органом, не превышает нормативный уровень, определенный по следующей формуле:

72. Нормативный предел массовой концентрации нЛТЧ = $10^{(3 + 2,9 F_{oo} - 0,274)}$.

Примечание. Поскольку существует корреляция между массовой концентрацией нЛТЧ и числом дымности, нормативный уровень в ч.71 §3 главы IV части III, получен из нормативного уровня числа дымности. Дополнительная Информация содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Дос 9501).

73. Масса нЛТЧ и число нЛТЧ, испускаемых в течение стандартного цикла ЛТО. Уровни массовой эмиссии нЛТЧ и численной эмиссии нЛТЧ, измеренные и рассчитанные в соответствии с методиками добавления 7 и преобразованные в характерные уровни согласно методикам добавления 6 или эквивалентным методикам, согласованным с сертифицирующим полномочным органом, не превышают нормативные уровни, определяемые по следующим формулам:

1) LTO_{mass} :

а) для двигателей типа или модели, конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2023 года или после этой даты:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 200 кН:

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 347,5;$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не превышающей 200 кН:

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 4646,9 - 21,497F_{oo};$$

б) для двигателей типа или модели, заявка на сертификат типа которых подана 1 января 2023 года или после этой даты:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 150 кН:

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 214,0;$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не превышающей 150 кН:

$$LTO_{mass}/F_{oo} = 1251,1 - 6,914F_{oo};$$

2) LTO_{num} :

а) для двигателей типа или модели, конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2023 года или после этой даты:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 200 кН:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 4,170 \times 10^{15};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не превышающей 200 кН:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2,669 \times 10^{16} - 1,126 \times 10^{14} F_{oo};$$

б) для двигателей типа или модели, заявка на сертификат типа которых подана 1 января 2023 года или после этой даты:

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 150 кН:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 2,780 \times 10^{15};$$

- для двигателей с максимальной расчетной тягой более 26,7 кН, но не превышающей 150 кН:

$$LTO_{num}/F_{oo} = 1,490 \times 10^{16} - 8,080 \times 10^{13} F_{oo}.$$

74. Требования в отношении сообщения данных. Изготовитель сообщает следующие значения эмиссии нЛТЧ, измеренные и рассчитанные в соответствии с процедурами добавления 7 или эквивалентными процедурами, согласованными с сертифицирующим органом:

1) максимальный EI_{mass} (миллиграмм/кг топлива),

2) максимальный EI_{num} (частиц/кг топлива).

§ 4. Требуемая информация

75. Общая информация. По каждому типу двигателя, который подлежит сертификации по эмиссии, представляется следующая информация:

- 1) обозначение двигателя;
- 2) расчетная тяга (в кН);
- 3) исходная степень повышения давления;
- 4) стандартные характеристики топлива;
- 5) отношение количества водорода к количеству углерода в топливе;
- 6) методы сбора данных;
- 7) метод анализа данных.

76. Информация об испытании. По каждому двигателю, проходящему испытания для целей сертификации, представляется следующая информация:

- 1) полезная теплота сгорания топлива (МДж/кг);
- 2) содержание водорода в топливе (в % к массе);
- 3) общее содержание ароматических веществ в топливе (в % к объему);
- 4) содержание нафталинов в топливе (в % к объему);
- 5) содержание серы в топливе (ppm по массе).

77. По каждому двигателю, проходящему испытания для целей сертификации, представляется следующая информация, полученная по результатам измерений и расчетов в соответствии с методиками добавления 7 или любыми эквивалентными методиками, согласованными с сертифицирующим полномочным органом:

- 1) расход топлива (кг/с) на каждом режиме тяги цикла LTO;
- 2) EI_{mass} (миллиграмм/кг топлива) на каждом режиме тяги цикла LTO;
- 3) EI_{num} (частицы/кг топлива) на каждом режиме тяги цикла LTO.

78. Производная информация. По каждому двигателю, проходящему испытания для целей сертификации, представляется следующая производная информация:

- 1) интенсивность эмиссии, т. е. $EI_{\text{mass}} \times \text{расход топлива}$, (миллиграмм /с) для массы нлТЧ;
- 2) интенсивность эмиссии, т. е. $EI_{\text{num}} \times \text{расход топлива}$, (частицы/с) для числа нлТЧ;
- 3) общая суммарная массовая эмиссия нлТЧ, измеренная в течение цикла LTO (миллиграмм);
- 4) общая численная эмиссия нлТЧ, измеренная в течение цикла LTO (частицы);
- 5) значения $LTO_{\text{mass}}/F_{\text{oo}}$ (миллиграмм /кН);
- 6) значения $LTO_{\text{num}}/F_{\text{oo}}$ (частицы/ кН);
- 7) максимальная массовая концентрация нлТЧ (микрограмм/м³).

79. По каждому типу двигателя, подлежащему сертификации по эмиссии, представляются характерные уровни максимальной массовой концентрации нлТЧ, $LTO_{\text{mass}}/F_{\text{oo}}$ и $LTO_{\text{num}}/F_{\text{oo}}$.

ЧАСТЬ IV. Оценка нелетучих твердых частиц в целях составления кадастра и моделирования

Примечание 1. Цель данной части заключается в предоставлении Стандартов и Рекомендуемой практики относительно методов расчета поправочных коэффициентов массовой и численной концентрации нлТЧ на потери в системе нлТЧ, кроме термофоретических потерь в коллекторном блоке. Описание системы отбора проб и измерения нлТЧ, коллекторного блока и расчета термофоретических потерь содержится в добавлении 7.

Примечание 2. Поправочные коэффициенты на потерю в системе массы и числа нлТЧ позволяют оценить массовую и численную концентрацию нлТЧ на выхлопе авиационного двигателя по массовой и численной концентрации нлТЧ, полученной согласно процедурам, описанным в добавлении 7.

80. Для двигателей типа или модели, на которые распространяются требования главы IV части III и конкретный экземпляр которых изготовлен 1 января 2023 года или после этой даты, поправочные коэффициенты (k_{SL_mass} и k_{SL_num}) на потери в системе массы и числа нлТЧ и EI_{mass} и EI_{num} с поправкой на потери в системе сообщаются назначенному государством сертифицирующему полномочному органу или компетентному органу в соответствии с процедурами добавления 8 или эквивалентными процедурами по согласованию с сертифицирующим полномочным органом.

Рекомендация. Для целей составления кадастра и моделирования в значения массовой и численной эмиссии нлТЧ, полученные согласно изложенным в добавлении 7 процедурам, должны быть внесены поправки на потери в системе с использованием методики, изложенной в добавлении 8.

ДОБАВЛЕНИЕ 1. Измерение исходной степени повышения давления

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. При определении степени повышения давления используется двигатель в штатной компоновке.
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.

§ 2. ИЗМЕРЕНИЕ

3. 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.

4. Необходимые для таких оценок поправочные коэффициенты определяются в процессе сертифицированных испытаний типа с использованием как минимум одного двигателя и любых испытаний соответствующих узлов и элементов двигателя и путем анализа.
5. Эти методы являются приемлемыми для АГАТ.

ДОБАВЛЕНИЕ 2. Оценка эмиссии дыма

§ 1. Введение и определения

1. Использование любых процедур, эквивалентных изложенным в добавлении, разрешается после представления предварительной заявки и ее утверждения АГАТ.

2. В тех случаях, когда в настоящем дополнении употребляются приведенные ниже термины и условные обозначения, они имеют следующие значения:

Объем пробы. Выбранный объем пробы (выраженный в м^3), эквивалентная масса которого, рассчитанная согласно п.3 данного добавления, совпадает с приведенным ниже определением размера пробы.

Размер пробы. Отобранная проба выхлопного газа, величина массы которой (выраженная в кг на 1 м^2 площади поверхности загрязненного фильтра) находится в интервале, указанном в п.8 ч.12 §6) данного добавления, и которая при пропускании через фильтрующий материал вызывает изменение коэффициента отражения, дающего значения параметра SN.

Эталонный размер пробы. Масса пробы, $16,2 \text{ кг/м}^2$ загрязненной площади фильтра, при пропускании которой через фильтрующий материал происходит изменение отражательной способности, по которой определяется значение параметра SN.

SN - Число дымности. Безразмерная величина, характеризующая уровень эмиссии дыма на основании загрязнения фильтра эталонной массой пробы выхлопного газа, которая измеряется по шкале в пределах от 0 до 100 (см. §7 данного добавления).

SN' - Число дымности, полученное в результате исследования отдельной пробы дыма, не обязательно эталонного размера, как определено в §7 данного добавления.

W - Масса отдельной пробы выхлопного газа в килограммах, вычисленная на основании измерений объема, давления и температуры пробы (см. §7 данного добавления).

§ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИИ ДЫМА

3. Пробоотборник эмиссии дыма. Пробоотборник отвечает следующим требованиям:

1) Материалом пробоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии

выхлопных газов, являются нержавеющей сталь или любой другой химически неактивный материал.

2) Если используется пробоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, то:

а) все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр;

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

3) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.

4) 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.

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

§ 3. Линия подачи проб эмиссии дыма

4. Проба подается из пробоотборника в систему сбора проб по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, длина которого ни в коем случае не превышает 25 м. Температура в этой линии поддерживается в интервале 60–175 °С, причем отклонения не превышают ± 15 °С, за исключением расстояния, необходимого для охлаждения газа с уровня температуры выхлопных газов до температуры регулирования в линии.

5. Линии подачи проб являются по возможности "прямыми на всем протяжении". Радиусы любых необходимых изгибов более чем в 10 раз превышают внутренний диаметр этих линий. Для изготовления линий используются такие материалы, которые предотвращают накопление твердых частиц вещества или статического электричества.

- Нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом политетрафторэтилен (ПТФЭ) отвечают этим требованиям.

§ 4. Система анализа дыма

Примечание. Рекомендуемый ниже метод основан на измерении уменьшения коэффициента отражения фильтра по мере его загрязнения при прохождении через него пробы выхлопных газов с данным массовым расходом.

6. Расположение различных компонентов системы, предназначенных для получения необходимых образцов загрязненных фильтров, имеет вид, схематически показанный на рис. А2-1. Вблизи расходомера может устанавливаться дополнительный перепускной клапан для упрощения снятия показаний. Основные элементы системы отвечают следующим требованиям:

- 1) *Измерение объема проб:* для измерения объема пробы с точностью до ± 2 % используется влажный или сухой положительный объемный расходомер. Измеряются также давление и температура на входе в расходомер с точностью соответственно 0,2 % и ± 2 °С.
- 2) *Измерение расхода газов, содержащихся в пробах:* расход газов, содержащихся в пробах, поддерживается в пределах 14 л/мин $\pm$ 0,5 л/мин; используемый с этой целью расходомер имеет точность ± 5 %.
- 3) *Фильтр и держатель:* держатель фильтра изготавливается из коррозионностойкого материала и имеет конфигурацию внутреннего канала потока, показанную на рис. А2-1. Фильтр изготавливается из ватмана № 4 или любого аналогичного материала, одобренного полномочным сертифицирующим органом.
- 4) *Клапаны:* в соответствии с рис. А2-1 предусматривается наличие четырех клапанов:
 - а) клапан А представляет собой быстродействующий переключатель потока, позволяющий отклонять поток для того, чтобы направлять входящие пробы через измерительный фильтр или по обходным каналам, а также для того, чтобы перекрывать поток.
 - б) клапаны В и С представляют собой дроссельные клапаны; они используются для

регулирования расхода газов в системе;

в) клапан D представляет собой запорный клапан; он служит для того, чтобы изолировать держатель фильтра.

Все клапаны изготавливаются из коррозионностойкого материала.

5) *Вакуумный насос*: при отсутствии потока разрежение в насосе по отношению к атмосферному давлению составляет $\square 75$ кПа; при стандартных температуре и давлении полный расход через него составляет не менее 26 л/мин;

6) *Регулирование температуры*: температура по всей внутренней линии подвода проб анализатора до держателя фильтра поддерживается в интервале 60–175 °С с точностью ± 15 °С.

Примечание. Осуществляется с целью предотвращения конденсации воды перед и в зоне держателя фильтра.

7) Если через пробоотборник желательно 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 обеспечивать требуемое падение давления на 80 % в пределах блока пробоотборника. Сбрасываемый поток газов может направляться в анализатор СО₂ или систему анализа видов эмиссии.

8) 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.

9) *Утечка*: подсистема соответствует требованиям, предъявляемым при проведении следующего испытания:

а) закрепить чистый фильтр в держателе;

б) закрыть клапан А и полностью открыть клапаны В, С и D;

в) включить вакуумный насос на 1 мин для того, чтобы уравнять давление;

г) оставить насос включенным и измерить расход через расходомер в течение 5 мин. Этот расход не превышает 1 л/мин (при стандартных температуре и давлении); система не используется до тех пор, пока не будут выполнены эти требования.

10) *Рефлектометр*: измерение плотности диффузного отражения материала фильтра осуществляется с помощью прибора, соответствующего стандарту ИСО 5-4¹ Международной организации по стандартизации. Диаметр светового луча рефлектометра на фильтровальной бумаге не превышает $D/2$, а также составляет не менее $D/10$, где D – диаметр пятна на фильтре (см. рис. А2-1).

¹ Международная организация по стандартизации, стандарт ИСО 5-4 1995 года, озаглавленный "Фотография. Измерение плотности. Часть 4 "Геометрические условия для плотности отражения".

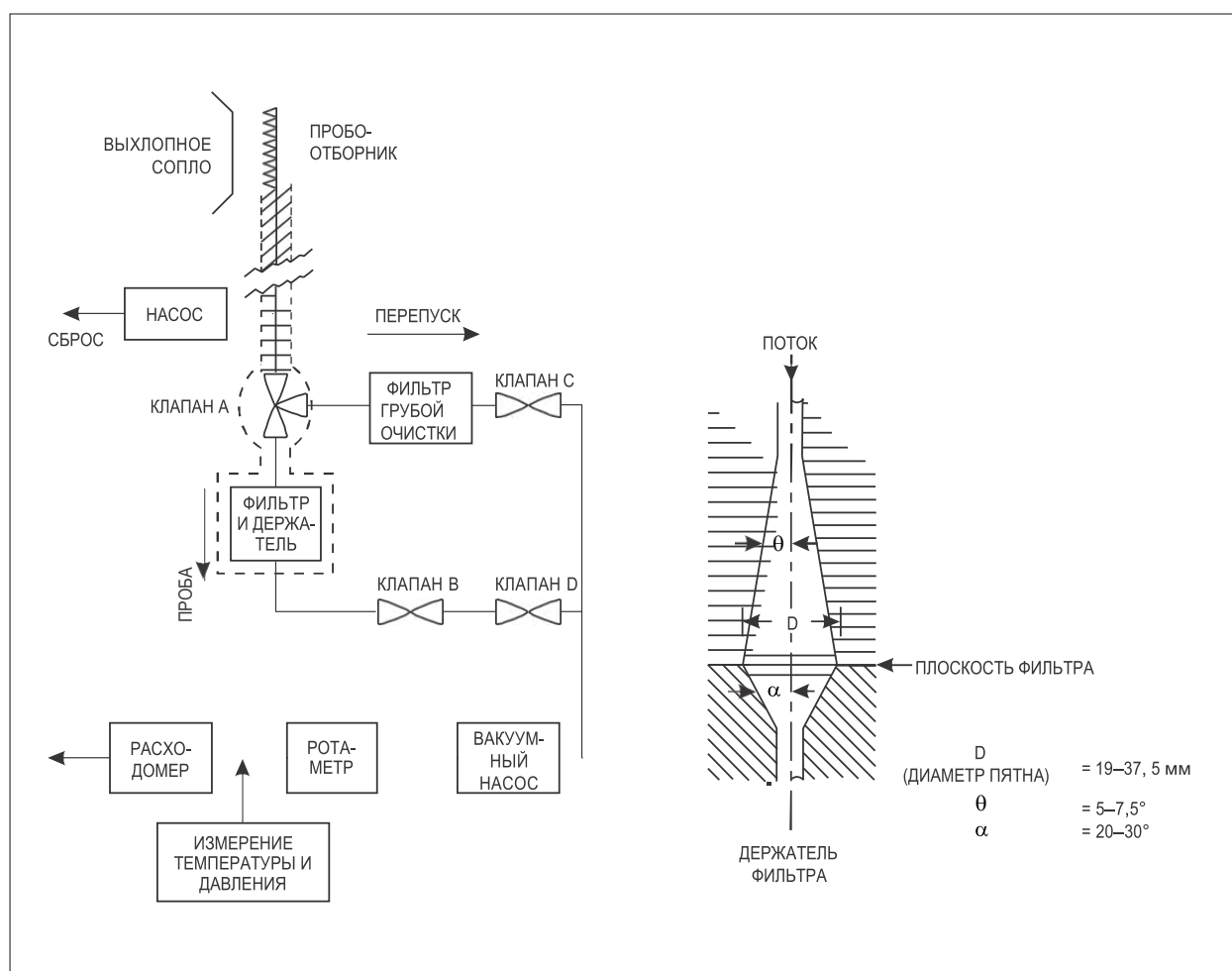


Рис. А2-1. Система анализа дыма

§ 5. Характеристики топлива

7. Характеристики топлива соответствуют характеристикам, указанным в добавлении 4.

§ 6. Методы измерения характеристик дыма

8. Работа двигателя. Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который соответствующим образом оборудован для высокоточных испытаний.

9. Испытания проводятся при величинах тяги, утвержденных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

10. Проверка на утечку и чистоту. Не производится никаких измерений, пока все линии передачи проб и клапаны не будут подогреты и стабилизированы. Перед серией испытаний система проверяется на утечку и чистоту следующим образом:

1) *проверка на утечку:* отсоединить пробоотборник от линии и закрыть конец линии передачи проб, выполнить проверку, как указано в п.8 §4, за исключением того, что клапан А открыт и установлен в положение "перепуск", клапан D закрыт, а допустимый уровень утечки составляет 0,4 л/мин при стандартных температуре и давлении. Вновь соединить пробоотборник с линией;

2) *проверка на чистоту:*

а) открыть клапаны В, С и D;

б) запустить вакуумный насос и попеременно устанавливая клапан А в положение "перепуск" и "проба" в течение 5 мин, чтобы заполнить всю систему чистым воздухом,

в) установить клапан А в положение "перепуск";

г) закрыть клапан D и закрепить в держателе чистый фильтрующий материал, открыть клапан D;

д) установить клапан А в положение "проба", и после того как через фильтр пройдет 50 кг воздуха на квадратный метр фильтра, вновь установить клапан А в положение "перепуск";

е) измерить пятно на фильтре и определить результирующее число дымности SN' в соответствии с тем, как описано в §7 данного добавления;

ё) если это значение SN' превышает 3, система очищается (или, другими словами, ректифицируется), пока не будет получено значение меньше 3.

11. Система не используется, пока не будут выполнены требования проверки на утечку и чистоту.

12. Измерение характеристик дыма. Измерения характеристик дыма производятся независимо от других измерений, за исключением случаев, когда полученные в

результате этих измерений величины значительно меньше предельных значений или когда можно доказать достоверность значений дыма, полученных при одновременных измерениях, и в этих случаях измерение характеристик дыма может осуществляться одновременно с измерением эмиссии газообразных веществ. Во всех случаях строго соблюдаются изложенные в ч.5 §3 требования к радиусам изгибов линий подачи проб. Создается также подсистема анализа дыма, отвечающая техническим требованиям, изложенным в §4. В соответствии с рис. А2-1 при получении образцов загрязненных фильтров выполняются следующие основные операции:

- 1) во время работы двигателя, когда пробоотборник установлен в нужном положении, клапан А не закрывается, иначе могут создаться условия для образования в линиях твердых частиц;
- 2) установить клапан А в положение "перепуск", закрыть клапан D и закрепить в держателе чистый фильтр. Продолжать пропускать пробу выхлопных газов в положении "перепуск" в течение по крайней мере 5 мин, пока двигатель работает в требуемых эксплуатационных условиях или в условиях, близких к ним; клапан С устанавливается в положение, соответствующее расходу 14 л/мин $\pm$ 0,5 л/мин;
- 3) открыть клапан D и установить клапан А в положение "проба", а клапан В снова установить в положение, соответствующее расходу, указанному в подпункте b);
- 4) установить клапан А в положение "перепуск" и закрыть клапан D; закрепить в держателе чистый фильтр;
- 5) когда условия работы двигателя стабилизируются, пропускать поток отобранных газов в течение 1 мин по системе при положениях клапанов, указанных в подпункте d);
- 6) открыть клапан D, установить клапан А в положение "проба", в случае необходимости вновь установить величины расхода и пропускать объем отобранных газов (см. подпункт h)) по системе до тех пор, пока клапан А не будет снова установлен в положение "перепуск", а затем закрыть клапан D;
- 7) снять загрязненный фильтр для анализа и закрепить в держателе чистый фильтр;
- 8) объемы отобранных проб находятся в интервале 12–21 кг выхлопных газов на квадратный метр фильтра и включают образцы, объемы которых составляют 16,2 кг выхлопных газов на квадратный метр фильтра или же превышают, или не достигают этой величины. Для каждого режима работы двигателя число используемых проб составляет не менее 3; в случае необходимости, указанные

в подпунктах 5)–7) операции повторяются.

§ 7. Расчет числа дымности на основе данных измерения

13. Полученные в соответствии с положениями ч.12 §6 данного добавления образцы загрязненных фильтров анализируются с помощью рефлектметра, как указано в п. 2.3. В качестве подкладки используется материал черного цвета с абсолютной отражательной способностью менее 3 %. Величины абсолютной отражательной способности каждого загрязняющего фильтра R_s используются для расчета уменьшения коэффициента отражения по следующей формуле:

$$SN' = 100(1 - R_s / R_w),$$

где R_w – абсолютная отражательная способность материала чистого фильтра.

14. Массы различных проб рассчитываются по формуле

$$W = 0,348 PV/T \times 10^{-2} \text{ (кг)},$$

где P и T – соответственно давление газов в пробе в паскалях и температура в градусах Кельвина, измеренные непосредственно перед расходомером, а V – измеренный объем пробы в кубических метрах.

15. Для каждого режима работы двигателя и в случае, если объемы пробы отличаются от стандартного значения в большую или меньшую сторону, на график зависимости SN' от $\log W/A$ (где A – площадь загрязненного фильтра в m^2) наносятся различные значения SN' и W . Используя линейную зависимость, полученную методом наименьших квадратов, вычисляется значение SN' для $W/A = 16,2 \text{ кг}/m^2$, и это значение сообщается в качестве числа дымности (SN) для данного режима работы двигателя. Если используются пробы только стандартных размеров, сообщаемое значение SN будет представлять среднее арифметическое различных отдельных значений SN' .

§ 8. СООБЩЕНИЕ ДАННЫХ АГАТ

16. Результаты измерения сообщаются АГАТ. По каждому испытанию сообщаются следующие дополнительные данные:

1) температура газов в пробе;

- 2) давление газов в пробе;
- 3) фактический объем пробы для условий отбора этих проб;
- 4) фактический расход отобранных газов для условий отбора проб;
- 5) подтверждение о проведении проверок на утечку и чистоту (см. ч.10 §6).

ДОБАВЛЕНИЕ 3. Приборы и методы измерения эмиссии газообразных веществ

ГЛАВА I.

§ 1. Введение

Примечание. Определенные в настоящем добавлении правила касаются получения представительных проб выхлопных газов и их подачи в систему измерения эмиссии, в которой они анализируются. Данные правила не применимы к двигателям с форсажной камерой. Предлагаемые методы являются характерными для наиболее совершенной, легкодоступной и широко применяемой современной практики.

1. Использование любых процедур, эквивалентных изложенным в добавлении, разрешается после представления предварительной заявки ее утверждения АГАТ.

§ 2. Определения

2. В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

Дрейф нуля. Зависящее от времени отклонение выходного сигнала прибора от заданного нулевого значения при прохождении через него газа, не содержащего компонента, подлежащего измерению.

Интерференция. Реакция прибора на присутствие других компонентов, не являющихся газом (или паром), характеристики которого подлежат измерению.

Концентрация газа. Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси (выражается в процентах от объема или миллионных частях).

Нерассеивающий инфракрасный анализатор. Прибор, который с помощью поглощения энергии инфракрасного излучения осуществляет селективное измерение конкретных компонентов.

Нулевой газ. Газ, подлежащий использованию при установке прибора в нулевое или нейтральное положение.

Отношение воздуха к топливу. Отношение массового расхода воздуха, проходящего через горячую секцию двигателя, к массовому расходу топлива в двигателе.

Пламеионизационный детектор. Детектор ионизации диффузионного водородно-воздушного пламени, выдающий сигнал, номинально пропорциональный количеству углеводородов, поступающих в это пламя в единицу времени (считается, что сигнал определяется числом поступающих в пламя атомов углерода).

Повторяемость. Точность, с которой измерение характеристик данного неизменяемого образца может быть воспроизведено при повторных измерениях через короткие интервалы времени без подстройки прибора.

Разрешающая способность. Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

Реакция прибора. Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации газов в пробе.

Стабильность. Точность, с которой повторные измерения по данному неизменяемому образцу могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

Тарировочный газ. Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

Точность. Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

Частей на миллион (ppm). Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

Частей на миллион частей углерода (ppmC). Молярная доля углеводорода, умноженная на 10^6 и измеренная на основе эквивалентности метана. Таким образом, 1 ppm метана обозначается как 1 ppmC. Для преобразования концентрации любого углеводорода, выраженной в ppm, в эквивалентное значение, выраженное в ppmC, нужно умножить концентрацию газа, выраженную в ppm, на число атомов углерода, входящих в состав молекулы газа. Например, 1 ppm пропана соответствует 3 ppmC углеводорода, 1 ppm гексана – 6 ppmC углеводорода.

Шум. Случайные отклонения данных на выходе прибора, не связанные с характеристиками пробы, измеряемой этим прибором; их следует отличать от характеристики смещения.

Эталонный газ. Смесь газов заданного известного состава, которая используется в качестве основы для расшифровки показаний прибора в единицах концентрации газа, измеряемого этим прибором.

§ 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

3. Эмиссия газообразных веществ. Определяется концентрация эмиссии следующих газов:

- 1) углеводородов (НС): оценка всех соединений углеводорода, присутствующих в выхлопных газах;
- 2) окиси углевода (СО);
- 3) двуокиси углерода (СО₂).
- 4) окислов азота (NO_x): оценка суммы двух окислов – окиси азота (NO) и двуокиси азота (NO₂); е) окиси азота (NO).

4. Прочая информация. Для нормализации данных измерения характеристик эмиссии и для количественного выражения испытываемых характеристик двигателя требуется следующая дополнительная информация:

- 1) температура на входе;
- 2) влажность на входе;
- 3) атмосферное давление;
- 4) соотношение водород/углерод в топливе;
- 5) другие требуемые параметры двигателя (например, тяга, число оборотов ротора, температуры газов в турбине и расход воздуха, проходящего через газогенератор).

5. В соответствии с дополнением F к настоящему добавлению эти данные получаются либо путем прямого измерения, либо путем расчета.

§ 4. Общая компоновка системы

6. Для очистки отобранных выхлопных газов, подаваемых к приборам для анализа на содержание окислов азота и углеводородов, не используются обезвоживатели, осушители, водоотделители или аналогичное оборудование. Требования к различным подсистемам, являющимся компонентами этой системы, приводятся в разделе 5; ниже приводится перечень некоторых ограничений и вариантов.

- 1) Предполагается, что в состав каждой отдельной подсистемы входят необходимые устройства для регулирования потока, кондиционирования и измерения.
- 2) Необходимость установки откачивающего насоса и (или) насоса для подачи горячих проб будет зависеть от способности удовлетворять требованиям в отношении времени подачи проб и массового расхода отобранных газов в анализирующей их подсистеме. В свою очередь, это зависит от давления подачи отобранных выхлопных газов и потерь в линиях. Считается, что в основном эти насосы потребуются при определенных условиях испытания двигателя.
- 3) В случае необходимости местоположение насоса для подачи горячих проб по отношению к подсистемам анализа может быть изменено. (Например, некоторые анализаторы НС включают в себя насосы для подачи горячих проб и, следовательно, могут считаться пригодными для их установки перед насосом для подачи горячих проб данной системы).

Примечание. На рис. А3-1 изображена схема системы отбора и анализа проб выхлопных газов, которая характеризует основные требования к испытаниям, связанным с измерением характеристик эмиссии.

§ 5. Описание составных частей

Примечание. Ниже приводятся общее описание и характеристики основных

элементов системы измерения характеристик выхлопных газов двигателей. Более подробное описание, когда это необходимо, дается в дополнениях А, В и С к настоящему добавлению.

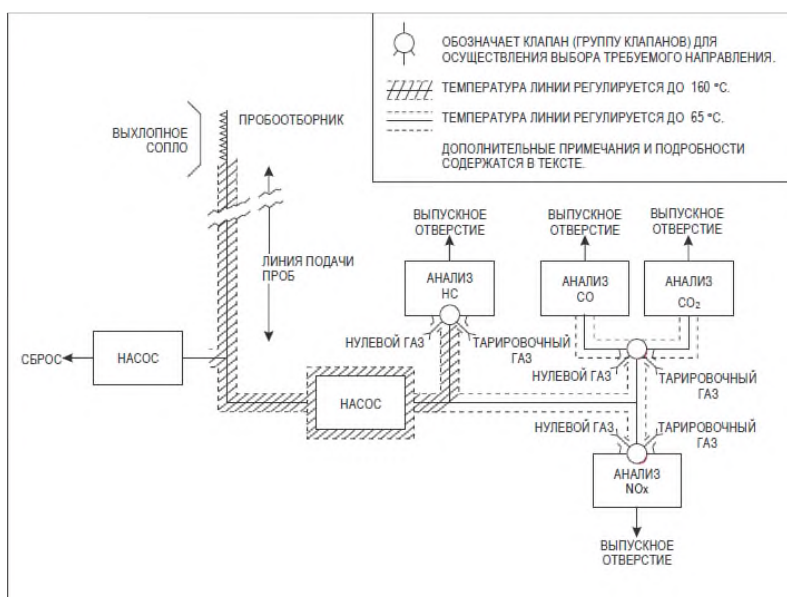


Рис. А3-1. Схема системы отбора и анализа проб

7. Система отбора проб.

8. Прободоотборник. Прободоотборник отвечает следующим требованиям:

- 1) Материалом прободоотборника, в контакт с которым вступает проба эмиссии выхлопных газов, является нержавеющей сталь или другой химически неактивный материал.
- 2) Если используется прободоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, то:
 - а) все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр;
 - б) прободоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления, проходящего через него потока, приходилось на отверстия.

3) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.

4) 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.

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

9. Линии отбора проб. Пробы подаются из пробоотборника в анализаторы по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, используя такое значение расхода, чтобы время подачи составляло менее 10 с. Температура в этой линии поддерживается в пределах $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, за исключением: а) расстояния, необходимого для охлаждения газа с уровня температуры выхлопных газов до температуры регулирования в линии, и б) линии, подающей пробы в анализаторы CO, CO₂ и NO_x. В данной линии поддерживается температура $65^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$. Когда отбор проб осуществляется с целью измерения составляющих HC, CO, CO₂ и NO_x, линия изготавливается из нержавеющей стали или шлифованного наполненного углеродом материала ПТФЭ.

10. Анализатор углеводородов (HC). Измерение общего содержания углеводородов в пробе проводится с помощью анализатора, в котором между электродами подогретого пламеионизационного детектора (FID) проходит ионизационный ток, пропорциональный массовому расходу углеводородов, вступающих в процесс горения водорода. Предполагается, что анализатор включает в себя компоненты, предназначенные для регулирования температуры и расхода газов, содержащихся в пробах перепуска газов, газового топлива и охлаждающих газов, и что он обеспечивает проведение эффективных контрольных тарировок диапазона и нуля.

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении А к данному добавлению.

11. Анализаторы окиси и двуокиси углерода (СО и СО₂). Для измерения этих компонентов используются нерассеивающие инфракрасные анализаторы, конструкция которых предусматривает использование принципа дифференциального поглощения энергии в параллельных элементах, стандартного и отобранного газов, причем элемент или группа элементов для каждого из этих компонентов газа соответствующим образом сенсibilизированы. Предусматривается выполнение этой анализирующей подсистемой всех необходимых функций, связанных с управлением и регулированием потоков газа, содержащихся в пробах, а также потоков нулевого газа и поперечных потоков. Регулирование температуры отвечает требованиям независимо от того, в каком состоянии измеряется проба (влажном или сухом).

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении В к данному добавлению.

12. Анализатор окислов азота (NO_x). Измерение газовой концентрации окиси азота (NO) проводится по методу хемилюминесценции, в соответствии с которым мера интенсивности излучения, вступающего в реакцию NO с добавлением O₃ соответствует мере газовой концентрации NO. До проведения измерения необходимо преобразовать компонент NO₂ в NO в конвертере, обладающем нужной эффективностью. Результирующая система измерения NO_x включает необходимые устройства для регулирования тока, температуры и других параметров и обеспечивает возможность выполнения обычной процедуры тарировки нуля и диапазона измерения, а также проведения проверок эффективности конвертера.

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении С к данному добавлению.

§ 6. Общая методика испытаний

13. Работа двигателя. Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который соответствующим образом оборудован для проведения высокоточных испытаний.

14. Испытания с целью измерения параметров эмиссии проводятся при величинах тяги, определенных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

15. Основная тарировка приборов

Примечание. Основная цель такой тарировки заключается в том, чтобы убедиться в стабильности и линейности их характеристик.

16. Подающий заявку на проведение испытаний представляет АГАТ доказательства того, что аналитическая система соответствующим образом тарирована ко времени проведения испытаний.

17. Что касается анализатора углеводородов, то при этой тарировке проверяется, находятся ли показания детектора кислорода и избирательные показания детектора углеводородов в пределах, установленных в дополнении А к данному добавлению. Коэффициент полезного действия (КПД) конвертора NO_2/NO проверяется также на соответствие техническим требованиям дополнения С к данному добавлению.

18. При проверке характеристик каждого анализатора применяют указанную ниже методику (с использованием тарировочного и испытываемого газов, как указано в дополнении D к данному добавлению):

- 1) ввести нулевой газ и установить прибор на ноль, записав соответствующим образом его показания;
- 2) для каждого эксплуатационного диапазона ввести тарировочный газ, газовая концентрация которого соответствует (номинально) отклонению стрелки прибора на 90 % всего диапазона измерения прибора (FSD); соответствующим образом отрегулировать коэффициент усиления прибора и записать его показания;
- 3) ввести тарировочные газы, газовая концентрация которых приблизительно соответствует 30, 60 и 90 % величины FSD, и записать показания анализатора;
- 4) провести прямую линию наименьших квадратов через точки, которые соответствуют газовой концентрации, равной 0, 30, 60 и 90 %. Если это признается необходимым, для основной модели анализатора CO и (или) CO_2 без линеаризации выхода проводится кривая наименьших квадратов соответствующей математической формулы с использованием дополнительных тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка отклоняется более чем на 2 % от значения всего диапазона измерения прибора (или $\pm 1 \text{ ppm}^*$, в зависимости от того, какая величина больше), для эксплуатационного применения следует подготовить тарировочную кривую.

*Кроме анализатора CO_2 , для которого это значение составляет $\pm 100 \text{ ppm}$.

19. Пользование приборами. Измерения не проводятся до тех пор, пока все приборы и линии подачи проб не подогреты и не стабилизированы, а также не выполнены следующие проверки:

- 1) проверка на утечку: до проведения серий испытаний система проверяется на утечку путем изоляции пробоотборника и анализаторов, подсоединения и включения вакуумного насоса с целью проверки того, что величина утечки в системе составляет менее 0,4 л/мин при условиях, соответствующих стандартным температуре и давлению. При отсутствии потока разряжение в вакуумном насосе по отношению к атмосферному давлению составляет -75 кПа; при стандартных температуре и давлении полный расход через него составляет не менее 26 л/мин;
- 2) проверка на чистоту: изолировать систему отбора проб газа от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа. Подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания углеводородов. Включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную той, которая используется при испытаниях эмиссии двигателей. Зарегистрировать показание анализатора содержания углеводородов. Это показание не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через содержание метана), в зависимости от того, какая величина больше.

Примечание 1. Для того чтобы исключить значительное загрязнение линий подачи проб, хорошей практикой является обратная продувка этих линий во время испытания двигателя, пока зонд находится в выхлопном сопле двигателя, но характеристики эмиссии не измеряются.

Примечание 2. Полезно также контролировать качество всасываемого воздуха в начале и в конце испытаний, а также по крайней мере через каждый час в ходе испытаний. Если уровни считаются значительными, то их необходимо учитывать.

20. Эксплуатационные измерения производятся следующим образом:

- 1) с помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов;
- 2) ввести тарировочный газ, газовая концентрация которого соответствует (номинально) 90 % величины FSD для всех подлежащих использованию

интервалов измерения, и соответствующим образом установить и записать значение коэффициента усиления;

- 3) после того как работа двигателя стабилизируется на требуемом режиме тяги, продолжить испытания двигателя и наблюдение за газовой концентрацией загрязняющих веществ до тех пор, пока не будут получены стабильные показания, которые регистрируются;
- 4) в конце испытания, а также во время испытаний через интервалы времени, не превышающие 1 ч, произвести повторную проверку нулевых и тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка сместилась более чем на $\pm 2\%$ от диапазона FSD, прибор настраивается вновь в установленных пределах и испытание повторяется.

21. Проверка баланса углерода. Каждое испытание должно включать проверку отношения воздуха к топливу, рассчитанного по объединенному образцу общей газовой концентрации углерода, за исключением концентрации дыма, которая должна совпадать с точностью до $\pm 15\%$ с данными расчета отношения воздуха к топливу для режима руления/малого газа и с точностью $\pm 10\%$ для всех остальных режимов работы двигателя (см. ч.22 §8 главы II).

ГЛАВА II. РАСЧЕТЫ

§ 7. Эмиссия газообразных веществ

22. Общие положения. В результате проведения аналитических измерений в соответствующих анализаторах в диапазоне температур на входе в камеру сгорания (T_B), охватывающем четыре эксплуатационных режима цикла ЛТО, получают значения газовой концентрации различных видов эмиссии газообразных веществ. Используя методику расчета, приводимую в ч.22 §7 главы II, или альтернативные методики, определенные в дополнении Е к настоящему добавлению, определяются замеренные индексы эмиссии (EI) для каждого вида газообразной эмиссии. Для учета отклонений от стандартных атмосферных условий применяются поправки, предусмотренные ч.25 §7 главы II. Просьба иметь в виду, что в соответствующих случаях эти поправки могут также использоваться для учета отклонений испытываемого двигателя от исходного стандартного двигателя (см. п. 1 f) добавления 6). Затем, используя температуру на входе в камеру сгорания (T_B) в качестве коррелирующего параметра, на основе

процедур, предусмотренных §9 главы II, определяются индексы эмиссии и расход топлива, соответствующие работе исходного стандартного двигателя в условиях стандартного дня на четырех эксплуатационных режимах цикла ЛТО.

23. Основные параметры

$$EI_p \text{ (индекс эмиссии для компонента } p) = \frac{\text{масса образующего компонента } p \text{ в г}}{\text{масса использованного топлива в кг}},$$

$$EI(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_C + (P_0/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2] (P_0/m) \right)$$

$$EI(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_C + (P_0/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2] (P_0/m) \right)$$

$$EI(\text{NOx}) \text{ как } \text{NO}_2 = \left(\frac{[\text{NOx}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_C + (P_0/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2] (P_0/m) \right)$$

$$\text{Отношение воздуха к топливу} = (P_0/m) \left(\frac{M_{\text{воздуха}}}{M_C + (P_0/m) M_H} \right),$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]},$$

$M_{\text{ВОЗДУХА}}$ – молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где уместно, $(32 [\text{O}_2]_b + 28,1564 [\text{N}_2]_b + 44,011 [\text{CO}_2]_b)$ г;

M_{CO} – молекулярная масса CO равна 28,011 г;

M_{HC} – молекулярная масса углеводородов в выхлопной пробе, принимаемая как $\text{CH}_4 = 16,043$ г;

M_{NO_2} – молекулярная масса NO_2

равна 46,008 г; M_C

– масса атома углерода

равна 12,011 г;

M_H – масса атома водорода равна

1,008 г;

$[\text{O}_2]_b$ – газовая концентрация O_2 в сухом воздухе по объему равна 0,2095;

$[\text{N}_2]_b$ – газовая концентрация N_2 + редкие газы в сухом воздухе

по объему равна 0,790 2; $[\text{CO}_2]_b$ —

газовая концентрация CO_2 в сухом воздухе по объему равна

0,0003;

$[\text{HC}]$ — средняя газовая концентрация выхлопных углеводородов (объем/объем во влажных условиях), выраженных как углерод;

$[\text{CO}]$ — средняя газовая концентрация CO (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе); $[\text{CO}_2]$ — средняя

газовая концентрация CO_2 (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе;

$[\text{NO}_x]$ — средняя газовая концентрация NO_x (объем/объем во влажных условиях) в выхлопной пробе равна $[\text{NO}] + [\text{NO}_2]$;

$[\text{NO}]$ — средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях); $[\text{NO}_2]$ — средняя

газовая концентрация NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях)

$$= \frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$$

$[\text{NO}_x]_c$ — средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер NO_2/NO (объем/объем во влажных условиях);

η — КПД конвертера NO_2/NO ;

h_{vol} — влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);

m — количество атомов C в характеристической молекуле топлива;

n — количество атомов H в характеристической молекуле топлива;

x — количество атомов С в характеристической молекуле выхлопных углеводородов;

y — количество атомов Н в характеристической молекуле выхлопных углеводородов.

24. Величина отношения атома водорода к атому углерода используемого топлива (n/m) определяется посредством анализа типа топлива. Влажность окружающего воздуха, h_{vol} , измеряется для каждого конкретного условия. При отсутствии доказательств противного в отношении характеристики (x , y) выхлопных углеводородов используются значения $x = 1$, $y = 4$. Если в измерениях должны использоваться сухие или полусухие СО и СО₂, то значения их газовой концентрации приводятся сначала к эквивалентным значениям концентрации влажных СО и СО₂, как показано в дополнении Е к данному добавлению, в котором также содержатся формулы внесения поправок на интерференцию, для использования по мере необходимости.

25. Приведение индексов эмиссии к стандартным условиям. С целью учета отклонений фактической температуры и давления воздуха на входе испытываемого двигателя от стандартных атмосферных условий МСА на уровне моря, вносятся поправки в измеряемые индексы эмиссии для всех загрязняющих веществ при всех соответствующих режимах работы двигателя. При необходимости эти поправки могут также использоваться для учета отклонений испытываемого двигателя от исходного стандартного двигателя (см. п. 1) ч.6 добавления 6). Стандартное значение влажности равно 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха. Следовательно, ЕІ приведенный = $K \times$ ЕІ измеренный,

где общее выражение для K :

$$K = (P_{BCT} / P_B)^a \times (FAR_{CT} / FAR_B)^b \times \exp ([T_{BCT} - T_B] / c) \times \exp (d[h_{mass} - 0,00634]);$$

P_B — измеренное давление на входе в камеру сгорания;

T_B — измеренная температура на входе в камеру сгорания;

FAR_B — отношение топлива к воздуху в камере сгорания;

h_{mass} — влажность окружающего воздуха (кг воды/кг сухого воздуха);

P_{CT} — давление на уровне моря МСА;

$T_{ст}$ – давление на уровне моря МСА;

$P_{Вст}$ – давление на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя), связанное с T_B при условиях МСА на уровне моря;

$T_{Вст}$ – температура на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя). Эта температура установлена относительно уровня тяги, определенного для каждого режима работы двигателя;

$FAR_{ст}$ – отношение топлива к воздуху в камере сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя);

a, b, c, d – расчетные постоянные, которые могут быть различными для каждого загрязнителя и каждого типа двигателя.

26. Параметры на входе в камеру сгорания желательно измерять, однако их можно и вычислять, исходя из окружающих условий, с помощью соответствующих формул.

27. Использование рекомендуемой в §9 главы II методики нанесения кривой по точкам в целях установления соотношения индексов эмиссии к температуре на входе в камеру сгорания эффективно исключает выражение $\exp((T_{Вст} - T_B)/c)$ из общего уравнения, и в большинстве случаев выражение $(FAR_{ст} / FAR_B)$ может считаться единицей. Для индексов эмиссии СО и НС многие органы, проводящие испытания, определили, что член, учитывающий влажность, достаточно близок к единице и его можно исключить из общего выражения, а также что показатель степени выражения $(P_{Вст}/P_B)$ близок к единице.

Таким образом,

$EI(CO)$ приведенный = EI , полученный из кривой зависимости

$(P_B / P_{Вст}) \times EI(CO)$ от T_B ; $EI(НС)$ приведенный = EI , полученный

из кривой зависимости $(P_B / P_{Вст}) \times EI(НС)$ от T_B ;

$EI(NO_x)$ приведенный = EI , полученный из кривой зависимости $EI(NO_x) \times (P_{Bct}/P_B)^{0,5} \times \exp(19 [h_{mass} - 0,00634])$ от T_B .

28. В том случае, когда данный рекомендуемый метод коррекции индексов эмиссии СО и НС не обеспечивает удовлетворительной корреляции, может применяться альтернативный метод с использованием параметров, полученных в отдельных испытаниях.

29. Любые другие применяемые методы внесения поправок в индексы эмиссии СО, НС и NO_x утверждаются полномочным сертифицирующим органом.

§ 9. Величины, входящие в контрольный параметр (D_p , F_{oo} , π)

30. Определения

D_p – масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете.

F_{oo} – расчетная тяга (см. определения в главе I части I).

F_n – тяга на эксплуатационном режиме цикла LTO, n , (кН).

W_f – массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря (кг/с).

W_m – массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря на эксплуатационном режиме цикла LTO, n .

π – отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора в момент, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в статических условиях МСА на уровне моря.

31. Индексы эмиссии (EI_n) для каждого загрязнителя с внесенными поправками относительно стандартных атмосферных условий и, если необходимо, относительно исходного стандартного двигателя (приведенные EI_n) получают для каждого эксплуатационного режима цикла LTO. В целях определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для каждого вида газообразной эмиссии в стандартных атмосферных условиях определяются следующие

зависимости:

- 1) между EI (приведенными) и T_B ;
- 2) между W_f и T_B ;
- 3) между F
и T_B .

Примечание 1. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А3-2 1), 2) и 3).

Примечание 2. Зависимости 2) и 3) могут быть определены непосредственно на основе данных испытаний двигателя или могут быть получены с помощью апробированной модели характеристик двигателя.

32. Под исходным двигателем понимается двигатель, в значительной степени соответствующий стандарту на производство типового двигателя, с полностью репрезентативными эксплуатационными и рабочими характеристиками.

33. Кроме того, изготовитель представляет АГАТ все необходимые данные о технических характеристиках двигателя с целью обоснования этих зависимостей и для условий МСА на уровне моря:

- 1) расчетная тяга (F_{oo});
- 2) степень повышения давления в двигателе (π) на максимальной номинальной тяге.

Примечание. Эти данные приводятся на рис. А3-2 d).

34. Общая процедура оценки EI (приведенных) для каждого вида газообразной эмиссии на четырех эксплуатационных режимах цикла LTO состоит в следующем:

- 1) определить температуру на входе в камеру сгорания (T_B) (рис. А3-2 с)) при значениях F_n , соответствующих четырем эксплуатационным режимам цикла LTO в стандартных атмосферных условиях;
- 2) на основании характеристики EI (приведенных)/ T_B (рис. А3-2 а)) определить величину EI_n, соответствующую

T_B ;

- 3) на основании характеристики W_f/T_B (рис. А3-2 б)) определить величину W_m , соответствующую T_B ;
- 4) записать величины максимальной номинальной тяги и степени повышения давления для условий МСА. Соответственно они будут представлять собой F_{oo} и π (рис. А3-2 д));
- 5) для каждого загрязняющего вещества рассчитать

$$D_p = \Sigma (EI_n) (W_m) (t), \text{ где } t \quad \text{— время работы на}$$

режиме на протяжении LTO (мин);

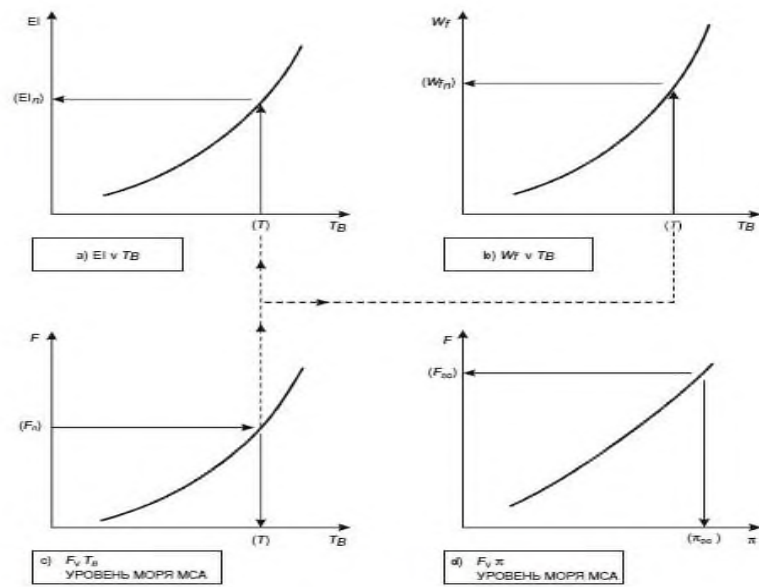
W_m — массовый расход топлива (кг/мин);

Σ — означает совокупность режимов, используемых на протяжении исходного цикла LTO.

35. Несмотря на то что описанная выше методология является рекомендуемым методом, АГАТ может одобрить равноценную математическую процедуру, в которой употребляется математическое выражение, задающее изображенные кривые, если выражения получены путем использования принятой методики нанесения кривой по точкам.

§ 10. Исключения из предлагаемых правил расчета

36. В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других внешних условий не позволяют использовать вышеуказанные правила, АГАТ после получения достаточных технических доказательств, подтверждающих получение равноценных результатов с помощью альтернативного правила, может его утвердить.



EI — ИНДЕКС ЭМИССИИ.
 T_B — ТЕМПЕРАТУРА НА ВХОДЕ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ.
 W_f — МАССОВЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА.
 F — ТЯГА ДВИГАТЕЛЯ.
 π — СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ.

Рис. А3-2. Порядок расчета

ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ НС

Примечание 1. Как указано в ч.10 §5 добавления 3, чувствительным элементом этого анализатора является пламенионизационный 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 газовой концентрации углеводородов, выраженной через эквивалентное число ppmC.

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

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. 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 учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

2. Подлежащий использованию прибор обеспечивает поддержание в нем заданной температуры детектора и частей, вступающих в непосредственный контакт с пробой газа не менее 150 °C. При условии, что чувствительность детектора является оптимальной и прибор в целом стабилизирован, к основным техническим характеристикам относятся следующие:

- 1) *Полный диапазон измерения:* 0–5000 ppmC в соответствующих интервалах измерения.
- 2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 0,5 ppmC, в зависимости от того, что больше.
- 3) *Повторяемость:* не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 0,5$ ppmC, в зависимости от того, что больше.

- 4) *Стабильность*: не хуже ± 2 % используемого диапазона измерения прибора или $\pm 1,0$ ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 5) *Дрейф нуля*: менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 0,5$ ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 6) *Шумы*: 0,5 Гц и больше, менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерений прибора или $\pm 0,5$ ppmC, в зависимости от того, что больше.
- 7) *Время срабатывания*: не превышает 10с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- 8) *Линейность*: зависимость выходного сигнала от состава воздушно-пропановой смеси является линейной в каждом интервале измерения в пределах ± 2 % от диапазона измерений прибора, в противном случае вводятся тарировочные поправки.

§ 2. СИНЕРГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Примечание. В процессе применения на точность измерения могут влиять два нижеуказанных аспекта характеристик:

- 1) *кислородный эффект (когда различные пропорции кислорода, присутствующего в пробе, обуславливают различные индикаторные газовые концентрации углеводорода при его постоянной фактической концентрации) и*
- 2) *относительная реакция на углеводород (когда имеет место различная реакция на газовую концентрацию углеводородов в одной и той же пробе, выраженная через эквивалентное число ppmC, которое зависит от класса или примеси различных классов углеводородных соединений).*

3. Степень отмеченного выше влияния определяется, как указано ниже, и соответственно ограничивается:

4. *Реакция на кислород*: измерить реакцию на две следующие смеси пропана с газовой концентрацией приблизительно 500 ppmC, определенной с относительной точностью до ± 1 %:

1) смесь пропана с $10 \% \pm 1 \% \text{O}_2$ (остальное N_2);

2) смесь пропана с $21 \% \pm 1 \% \text{O}_2$ (остальное N_2).

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

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

1) пропан в нулевом воздухе,

2) пропилен в нулевом

воздухе,

3) толуол в нулевом

воздухе,

4) п-гексан в нулевом воздухе.

7. 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 $5 \% R_a$.

§ 3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАКЦИИ ДЕТЕКТОРА И РЕГУЛИРОВКА

8. 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.

9. Линейность каждого диапазона измерения анализатора проверяется с помощью проб воздушно-пропановой смеси, газовая концентрация которой соответствует отклонению стрелки прибора приблизительно на 30, 60 и 90 % всего диапазона измерения прибора. Максимальное отклонение любого из этих показаний от прямой линии наименьших квадратов, соединяющей данные точки с нулем, не превышает ± 2 % от всего диапазона измерения прибора. Если отклонение превышает эту величину, строится тарировочная кривая для эксплуатационного использования.

ДОПОЛНЕНИЕ Б К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРАМ СО И СО₂

Примечание 1. В ч.11 §5 добавления 3 приводятся характеристики анализирующей подсистемы, подлежащей применению при отдельных измерениях газовой концентрации СО и СО₂ в пробе выхлопных газов. Пробы основаны на принципе недисперсионного поглощения инфракрасного излучения в параллельных элементах, заполненных эталонным и отобраным газом. Требуемые диапазоны чувствительности определяются путем использования ряда элементов, чувствительных к отобранному газу, путем изменения электронной схемы или обоими способами. Влияние газов, имеющих перекрывающиеся полосы поглощения, может быть сведено к минимуму с помощью газопоглощающих фильтров и (или) оптических фильтров (предпочтительнее с помощью последних).

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

§ 1. Меры предосторожности.

1. 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 учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

К основным техническим характеристикам относятся следующие:

2. Анализатор СО

- 1) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- 2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 3) *Повторяемость:* не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 4) *Стабильность:* не хуже ± 2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или +2 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

5) *Дрейф нуля*: менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm, в зависимости от того, что больше.

7) *Интерференция*: должна быть ограничена следующим образом в зависимости от зарегистрированной газовой концентрации CO:

а) менее 500 ppm на каждый процент газовой концентрации этилена;

б) менее 2 ppm на каждый процент газовой концентрации CO₂;

в) менее 2 ppm на каждый процент концентрации водяных паров^{2□}.

3. Если интерференция для CO₂ и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

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

4. Анализатор CO₂

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

2) *Разрешающая способность*: не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 100 ppm, в зависимости от того, что больше.

3) *Повторяемость*: не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm, в зависимости от того, что больше.

4) *Стабильность*: не хуже ± 2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

5) *Дрейф нуля*: менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее ± 1 ppm, 1 % от всего используемого диапазона

² *Нет необходимости применять в случае проведения измерений в "сухом" состоянии.

измерения прибора или ± 100 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше

- 7) Проверяется влияние кислорода (O_2) на чувствительность анализатора CO_2 . При изменении содержания O_2 от 0 до 21 % чувствительность при данной газовой концентрации CO_2 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.

5. Анализаторы CO и CO_2

- 1) *Время срабатывания:* не превышает 10с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.

2) *Температура пробы газа:* нормальным режимом работы является анализ пробы газа в необработанном "влажном" состоянии. Для этого необходимо, чтобы элемент, заполненный отобранном газом, и другие компоненты этой подсистемы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, сохраняли постоянную температуру не менее 50 °С при стабильности ± 2 °С. Допускается измерение CO и CO_2 в сухом состоянии (с использованием соответствующих водоотделителей); в этом случае разрешается использовать ненагретые анализаторы, при этом нет необходимости определять пределы интерференции для паров H_2O , однако требуется введение поправок на влажность окружающего воздуха и на содержание водяных паров в продуктах горения.

- 3) *Калибровочные кривые:*

а) Анализаторы с линейными характеристиками выходного сигнала проверяются во всех рабочих диапазонах с использованием калибровочных газов при известных газовых концентрациях, составляющих 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 ± 2 % от величины полной шкалы. Если это обеспечивается, то строится калибровочная кривая для практического применения.

б) 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 газовых концентрациях, составляющих примерно 0, 30, 60 и 90 % от полной шкалы. При необходимости используются дополнительные смеси для точного определения вида кривой.

ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ NO_x

Примечание. Информацию о тарифовочных и испытательных газах см. в дополнении D.

1. Как указано в ч.12 §5 добавления 3, измерение газовой концентрации окислов азота осуществляется по методу хемилюминесценции, с помощью которого определяется излучение, выделяемое при реакции NO и O₃. Этот метод не обеспечивает точного определения NO₂, поэтому, прежде чем измерить общее содержание NO_x, пробу газа пропускают через конвертер, в котором NO₂ преобразуется в NO. Регистрируются как первоначальная, так и общая газовая концентрация NO_x. Таким образом, содержание NO₂ определяется по разнице.

2. Подлежащий использованию прибор включает в себя все необходимые компоненты, регулирующие расход, например регуляторы, клапаны, расходомеры и т. д. Материалы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, обладают способностью противостоять воздействию окислов азота, например нержавеющей сталь, стекло и т. д. Температура отобранных газов везде выдерживается в пределах, соответствующих местному давлению, с тем чтобы исключить возможность конденсации воды.

§ 1. Меры предосторожности.

3. 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.

4. К основным техническим характеристикам, определяемым для прибора, работающего при температуре окружающей среды, стабильной в пределах 2 °С, относятся следующие:

1) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.

2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона

измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.

- 3) *Повторяемость*: не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 4) *Стабильность*: не хуже ± 2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 5) *Дрейф нуля*: менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 2 ч, в зависимости от того, что больше.
- 7) *Интерференция*: влияние для отобранных газов, содержащих CO₂ и водяные пары, ограничивается следующим образом:
 - а) менее 0,05 % от показания прибора на каждый процент газовой концентрации CO₂;
 - б) менее 0,1 % от показания прибора на каждый процент газовой концентрации водяных паров.

Если интерференция для CO₂ и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

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

- 8) *Время срабатывания*: не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- 9) *Линейность*: не хуже ± 2 % всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 10) *Конвертер*: проектируется и эксплуатируется таким образом, что содержащаяся в пробе NO₂ эффективно преобразуется в NO, первоначально

содержащуюся в пробе.

5. Коэффициент полезного действия (кпд) конвертера составляет не менее 90 %. Это значение кпд используется для приведения количества NO_2 , содержащегося в пробе (т. е. $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$), к тому количеству, которое было бы получено, если бы кпд не составлял 100 %.

ДОПОЛНЕНИЕ Г К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТАРИРОВОЧНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ГАЗЫ

Таблица тарифовочных газов

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или $\pm 0,05$ ppm**
CO ₂	CO ₂ в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или ± 100 ppm**
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или ± 2 ppm**
NOx	NOx в нулевом азоте	$\pm 2\%$ или ± 1 ppm**

*Берется в 95 %-ном доверительном интервале.
 ** В зависимости от того, что больше.

Вышеуказанные газы требуются для проведения обычной тарифовки анализаторов во время нормального рабочего использования.

Таблица испытательных газов

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность *</i>
HC	пропан в (10+1) % O ₂ в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1\%$
HC	пропан в (21+1) % O ₂ в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1\%$
HC	пропилен в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
HC	толуол в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
HC	n-гексан в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
HC	пропан в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ в нулевом азоте	$\pm 1\%$
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
NOx	NO в нулевом азоте	$\pm 1\%$

* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.

Вышеуказанные газы требуются для проведения испытаний, описываемых в дополнениях А, В и С.

Тарировочные газы окиси углерода и двуокиси углерода могут смешиваться отдельно или в виде двухкомпонентных смесей. Трехкомпонентные смеси окиси углерода, двуокиси углерода и пропана в нулевом воздухе могут использоваться в том случае, если обеспечивается стабильность смеси.

Нулевым газом для анализаторов CO, CO₂ и HC является нулевой воздух (который представляет собой "искусственный" воздух, состоящий из смеси 20–22 % O₂ с N₂). Для анализатора NO_x в качестве нулевого газа применяется нулевой азот. Содержание примесей в обоих типах нулевого газа ограничивается следующими величинами:

1 ppm C,
1 ppmCO,
100 ppm CO₂,
1 ppm NO_x.

Подающий заявку обеспечивает, чтобы поставляемые ему технические газы фактически соответствовали данным требованиям или чтобы это соответствие, гарантировалось поставщиком.

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

§ 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

AFR	– отношение воздуха к топливу; отношение массового расхода сухого воздуха к массовому расходу топлива;
EI	– индекс эмиссии; $10^3 \square$ массовый расход газообразного продукта эмиссии на выхлопе/удельный массовый расход топлива;
K	– отношение газовой концентрации, измеренной во влажных условиях, к концентрации, измеренной в сухих условиях (после холодного паросепаратора);
L, L'	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции CO_2 ;
M, M'	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции H_2O ;
$M_{\text{воздуха}}$	– молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где удобно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;
M_{CO}	– молекулярная масса CO равна 28,011 г;
M_{HC}	– молекулярная масса характеристического выхлопного углеводорода, принятого за $C_nH_m = 16,043$ г;
M_{NO_2}	– молекулярная масса NO_2 равна 46,008 г;
M_C	– масса атома углерода равна 12,011 г;
M_H	– масса атома водорода равна 1,008 г;
P_1	– количество молей CO_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_2	– количество молей N_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_3	– количество молей O_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_4	– количество молей H_2O в выхлопной пробе на моль топлива;
P_5	– количество молей CO в выхлопной пробе на моль топлива; P_6
	– количество молей C_xH_y в выхлопной пробе на моль топлива;
P_7	– количество молей NO_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_8	– количество молей NO в выхлопной пробе на моль топлива;
P_T	– $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$;
$[O_2]_b$	– газовая концентрация O_2 в сухом воздухе по объему равна 0,2095;
$[N_2]_b$	– газовая концентрация N_2 + редкие газы в сухом воздухе по объему равна 0,790 2;

- $[CO_2]_b$ – газовая концентрация CO_2 в сухом воздухе по объему равна 0,000 3;
- P_o – количество молей воздуха на моль топлива в начальной смеси воздух/топливо;
- Z – условное обозначение, используемое и определенное в п. 3.4;
- $[CO_2]$ – средняя газовая концентрация CO_2 в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
- $[CO]$ – средняя газовая концентрация CO в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
- $[HC]$ – средняя газовая концентрация углеводородов в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях, выраженная содержанием углерода;
- $[NO]$ – средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;
- $[NO_2]$ – средняя газовая концентрация NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях;

$$= \frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$$

- $[NOx]$ – средняя газовая концентрация NO и NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем), во влажных условиях = $[NO + NO_2]$;
- $[NOx]_c$ – средняя газовая концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер NO_2/NO (объем/объем), во влажных условиях;
- $[]_d$ – средняя газовая концентрация в выхлопной пробе после холодного паросепаратора (объем/объем);
- $[]_m$ – средняя измеренная газовая концентрация до введения инструментальной поправки (объем/объем);
- h_{vol} – влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);
- h_d – влажность выхлопной пробы на выходе "сушильной установки" или "холодильного паросепаратора" (объем воды/объем сухой пробы);
- m – количество атомов C в характеристической молекуле топлива;
- n – количество атомов H в характеристической молекуле топлива;
- x – количество атомов C в характеристической молекуле выхлопного углеводорода; y – количество атомов H в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
- η – КПД конвертера NO_2/NO .

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ EI И AFR

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

$$C_m H_n + P_0 [O_2]_b (O_2) + [N_2]_b (N_2) + [CO_2]_b (CO_2) + h_{vol} (H_2O) = P_1 (CO_2) + P_2 (N_2) + P_3 (O_2) + P_4 (H_2O) + P_5 (CO) + P_6 (C_x H_y) + P_7 (NO_2) + P_8 (NO),$$

из которого требуемые параметры могут быть определены как

$$EI(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right);$$

$$EI(HC) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ выражен как эквивалент метана};$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) \text{ выражен как эквивалент } NO_2;$$

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

2. Величины углеводородного состава топлива (m , n) определяются спецификацией топлива или путем анализа. Если таким образом определено только отношение n/m , то может устанавливаться величина $m = 12$. Обычно молекулярные части составляющих сухого воздуха ($[O_2]_b$, $[N_2]_b$, $[CO_2]_b$) берутся равными рекомендуемому стандартным величинам, однако могут устанавливаться альтернативные величины при соблюдении ограничения $[O_2]_b + [N_2]_b + [CO_2]_b = 1$ и при утверждении полномочным сертифицирующим органом.

3. Влажность окружающего воздуха, h_{vol} , измеряется в каждом режиме испытаний. Рекомендуется, чтобы при отсутствии доказательств противного для характеристики (x , y) выхлопного углеводорода устанавливались величины $x = 1$ и $y = 4$.

4. Для определения остальных неизвестных величин требуется решить следующую систему линейных уравнений, из которых уравнения (1) – (4) вытекают из основных законов сохранения атомной массы, а уравнения – (9) представляют зависимость концентрации газообразных продуктов.

$$m + [CO_2]_b P_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \quad (1)$$

$$n + 2h_{vol}P_0 = 2P_4 + yP_6 \quad (2)$$

$$(2[O_2]_b + 2[CO_2]_b + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \quad (3)$$

$$2[N_2]_b P_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \quad (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \quad (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \quad (6)$$

$$[\text{HC}] P_T = x P_6 \quad (7)$$

$$[\text{NOx}]_c P_T = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

5. Вышеуказанная система условных уравнений относится к тому случаю, когда все измеренные концентрации газов являются истинными, т. е. не подвержены влиянию интерференции и нет необходимости вносить поправки на высушивание пробы. На практике обычно наблюдается значительное влияние интерференции при замерах СО и NO и часто используется возможность альтернативного замера СО₂ и СО на сухой или частично сухой основе. Необходимые преобразования соответствующих уравнений описаны в ч.6 §2 и ч.7 §5.

6. Эффекты интерференции в основном обусловлены наличием СО₂ и Н₂О в пробе, которые могут совершенно различным образом повлиять на работу анализаторов СО и NOx. Анализатор СО подвержен эффекту смещения нуля, а анализатор NOx – эффекту изменения чувствительности, что учитывается следующими выражениями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{и } [\text{NOx}]_c = [\text{NOx}]_{cm} (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]),$$

которые преобразуют в следующие уравнения, альтернативные уравнениям (6), (8) и (9), если необходимо внести поправки на влияние интерференции:

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L P_1 + M P_4) = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L P_1 + M P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

7. Альтернативный замер газовых концентраций СО₂ и СО на сухой или частично сухой основе пробы, т. е. с пониженной до h_d влажностью пробы, требует применения следующих преобразованных условных уравнений:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

и

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5.$$

8. Однако, как описано в п. 2.5, анализатор СО может также подвергаться влиянию интерференции, поэтому полное альтернативное уравнение для замера газовой концентрации СО принимает вид:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \quad (6B)$$

§ 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ

9. Общие положения. Уравнения (1) – (10) могут быть преобразованы в аналитические выражения для параметров EI и AFR. Это преобразование представляет собой процесс постепенного исключения корней P_0, P_1-P_8, P_T , при этом допуская, что все замеры газовой концентрации определены для "влажной" пробы и не требуют внесения поправок на интерференцию или других аналогичных поправок. На практике часто используется возможность выбора проводить замеры газовой концентрации CO_2 и CO на "сухой" или "полусухой" основе; также часто возникает необходимость вносить поправки на интерференцию. Выражения для использования в этих различных условиях приведены в ч. 10 §3, ч.11 §3 и 12 §3.

10. Уравнение для приведения результатов замеров сухой концентрации газов к концентрации на влажной основе

Влажная концентрация газа = K х сухая концентрация газа, т. е.

$$[] = K []_d .$$

Если CO и CO_2 определены на "сухой" основе, используется следующее выражение для K :

$$K = \frac{\{4 + (n/m) [\text{CO}_2]_b + ([n/m] [\text{CO}_2]_b - 2h_{vol}) ([\text{NO}_2] - (2[\text{HC}]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x])[n/m] [\text{HC}]\} (1 + h_d)}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([\text{CO}_2]_d + [\text{CO}]_d)\} - ([n/m] [\text{CO}_2]_b - 2h) (1 - [1 + h_d] [\text{CO}]_d)}$$

11. Поправка на интерференцию. В результате замеров CO и (или) NO_x и NO , возможно, потребуются вносить поправки на интерференцию CO_2 пробы и концентрации воды до использования в аналитических уравнениях выше. Такие поправки обычно могут выражаться следующими путями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}];$$

$$[\text{CO}]_d = [\text{CO}]_{md} + L[\text{CO}_2]_d + M \left(\frac{h_d}{1+h_d} \right);$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_m (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]);$$

$$\eta[\text{NO}_2] = ([\text{NO}_x]_{cm} - [\text{NO}]_m) (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]).$$

12. Уравнение для определения содержания воды в пробе

Концентрация воды в пробе

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol} [P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + [CO_2]_b (P_0/m)} - (y/2x)[HC],$$

13. Следует отметить, что такое определение концентрации воды является функцией различных данных анализа концентрации газа, которые сами могут нуждаться в коррекции на интерференцию воды. В этих случаях для получения большей точности необходимы повторные замеры с последующим пересчетом концентрации воды до тех пор, пока не будет получена требуемая стабильность результатов. Этого не требуется при использовании альтернативного, числового метода решения (§ 4).

Где

$$P_0 / m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}.$$

§ 4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД: ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ

14. В качестве альтернативы аналитическому методу, изложенному в §3 выше, индексы эмиссии, отношение воздуха к топливу, скорректированные концентрации газа во влажных условиях и т. д. можно легко получить путем числового решения уравнений (1) – (10) для каждой серии замеров на цифровой вычислительной машине.

15. Для учета поправок на интерференцию и (или) измерений высушенных проб в системе уравнений (1) – (10) фактические результаты замеров концентрации газа заменены теми альтернативными уравнениями (5А), (6А) и т. д., которые приемлемы для конкретной измерительной системы.

16. Подходящие простые машинные программы с двумерным массивом для решения уравнений широко распространены, они удобны и гибки в использовании для указанных целей и позволяют легко вводить и определять любые методы высушивания проб, поправки на интерференцию или другие поправки.

ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 3. ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. В соответствии с требованиями, изложенными в ч.4 §3 главы II добавления 3, кроме измеренной газовой концентрации компонентов отобранного газа, требуются также следующие данные:

- 1) температура на входе: измеряется с точностью $\pm 0,5$ °C в виде полной температуры в точке, отстоящей от входного сечения воздухозаборника двигателя на расстояние одного диаметра этого сечения;
- 2) 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:
 - а) ± 5 % для влажности окружающего воздуха, превышающей или равной 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха, или
 - б) $\pm 0,000317$ кг воды/кг сухого воздуха для влажности окружающего воздуха менее 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха;
- 3) атмосферное давление: измеряется в радиусе 1 км от места испытания двигателя с точностью ± 100 Па; при необходимости вводится поправка на высоту испытательного стенда;
- 4) массовый расход топлива: прямое измерение с точностью ± 2 %;
- 5) отношение Н/С топлива: определяется отношением n/m , где $C_m H_n$ – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа типа топлива двигателя;
- 6) параметры двигателя:
 - а) тяга: прямое измерение с точностью ± 1 % при взлетной тяге и ± 5 % при минимальной тяге, используемой при сертификационных испытаниях, с линейным изменением между этими величинами;
 - б) обороты двигателя: прямое измерение с точностью по крайней мере $\pm 0,5$ %;

в) расход воздуха в газогенераторе: определяется с точностью $\pm 2\%$ на основе тарировки характеристик двигателя.

2. Параметры, указанные в подпунктах 1), 2), 4) и 6), определяются в начале каждого испытания на эмиссию двигателей, в то время как параметр, указанный в подпункте 3), определяется с интервалом не менее чем 1 ч в период испытаний на эмиссию.

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

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

<i>Свойства</i>	<i>Допустимый диапазон величин</i>
Плотность, кг/м ³ при 15 °С	780–820
Температура дистилляции, °С	
10 % от точки кипения	155–201
Окончательная точка кипения	235–285
Полезная теплота сгорания, МДж/кг	42,86–43,50
Содержание ароматических веществ, в % к объему	15–23
Содержание нафталинов, в % к объему	0,0–3,0
Точка дымления, мм	20–28
Содержание водорода, в % к массе	13,4–14,3
Содержание серы, ppm по массе менее	3 000
Кинематическая вязкость при -20 °С, мм ² /с	2,5–6,5

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

ГЛАВА I.

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Примечание. Определенные в настоящем добавлении правила касаются получения представительных проб выхлопных газов и их подачи в систему измерения эмиссии, в которой они анализируются. Данные правила применяются только в случае использования форсажа. Предлагаемые методы являются характерными для наиболее совершенной, легкодоступной и широко применяемой современной практики. Признается необходимым вносить поправки относительно условий окружающего воздуха. Метод будет указан, когда он станет известен. До тех пор любой метод внесения поправок, используемый при наличии форсажной камеры, может быть применен, если будет одобрен сертифицирующими органами.

Изменение рекомендуемой методики, изложенной в настоящем добавлении, разрешается после представления соответствующей заявки АГАТ и утверждения им этих изменений.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины без каких-либо пояснений, они имеют следующие значения:

Дрейф нуля. Зависящее от времени отклонение выходного сигнала прибора от заданного нулевого значения при прохождении через него газа, не содержащего компонента, подлежащего измерению.

Интерференция. Реакция прибора на присутствие других компонентов, не являющихся газом (или паром), характеристики которого подлежат измерению.

Концентрация. Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси (выражается в процентах от объема или миллионных частях).

Нерассеивающий инфракрасный анализатор. Прибор, который с помощью

поглощения энергии инфракрасного излучения осуществляет селективное измерение конкретных компонентов.

Нулевой газ. Газ, подлежащий использованию, при установке прибора в нулевое или нейтральное положение.

Пламеионизационный детектор. Детектор ионизации диффузионного водородно-воздушного пламени, выдающий сигнал, номинально пропорциональный количеству углеводородов, поступающих в это пламя в единицу времени (считается, что сигнал определяется числом поступающих в пламя атомов углерода).

Повторяемость. Точность измерения характеристик данного неизменяемого образца, которая может быть воспроизведена при повторных измерениях через короткие интервалы времени без настройки прибора.

Разрешающая способность. Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

Реакция прибора. Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации газов в пробе.

Также выходной сигнал, соответствующий данной концентрации газов в пробе.

Стабильность. Точность, с которой неоднократные измерения характеристик данного неизменяемого образца могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

Струя. Общий внешний поток выхлопных газов двигателя, включая окружающий воздух, с которым смешиваются выхлопные газы.

Тарировочный газ. Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

Точность. Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

Частей на миллион (ppm). Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

Частей на миллион частей углерода (ppmC). Молярная доля углеводорода,

умноженная на 10^6 и измеренная на основе эквивалентности метана. Таким образом, 1 ppm метана обозначается как 1 ppmC. Для преобразования концентрации любого углеводорода, выраженной в ppm, в эквивалентное значение, выраженное в ppmC, нужно умножить концентрацию, выраженную в ppm, на число атомов углерода, входящих в состав молекулы газа. Например, 1 ppm пропана соответствует 3 ppmC углеводорода, 1 ppm гексана – 6 ppmC углеводорода.

Шум. Случайные отклонения данных на выходе прибора, не связанные с характеристиками пробы, измеряемой этим прибором; их следует отличать от характеристик смещения.

Эталонный газ. Смесь газов заданного известного состава, которая используется в качестве основы для расшифровки показаний прибора в единицах концентрации газа, измеряемого этим прибором.

§ 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

1. Эмиссия газообразных веществ. Определяется концентрация следующих газов:

- 1) Углеводороды (HC): производится комбинированная оценка всех соединений углеводорода, присутствующих в выхлопных газах.
- 2) Окись углерода (CO).
- 3) Двуокись углерода (CO₂).

Примечание. CO₂ не считается загрязняющим веществом, однако определение ее концентрации необходимо для целей расчета и проверки.

- 4) Окислы азота (NO_x): рассчитывается сумма двух окислов – окиси азота (NO) и двуокиси азота (NO₂). е) Окись азота (NO).

2. Прочая информация. Для нормирования данных характеристик эмиссии и для количественного выражения испытываемых характеристик двигателя представляется следующая информация в дополнение к ч.12 §3;

- 1) температура на входе;
 - 2) влажность на входе;
 - 3) атмосферное давление;
 - 4) векторы ветра по отношению к оси струи выхлопных газов двигателя;
 - 5) соотношение водорода/углерода в топливе;
 - 6) детали установки двигателя;
 - 7) другие требуемые параметры двигателя (например, тяга, число оборотов ротора, температура газов в турбине);
 - 8) данные о концентрации загрязняющих веществ и параметры статистического обоснования.
3. В соответствии с дополнением F к настоящему добавлению ГАПГАТ эти данные получаются либо путем прямого измерения, либо путем расчетов.

§ 4. ОБЩЕЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ

4. Учитывая реактивный характер струи выхлопных газов двигателей, работающих с использованием форсажной камеры, необходимо обеспечить, чтобы замеряемые выхлопные газы действительно соответствовали газам, фактически выбрасываемым в окружающую атмосферу. Это условие достигается при отборе проб струи выхлопных газов на достаточно большом удалении от двигателя, т. е. когда выхлопные газы охладились до температуры, при которой прекращается протекание реакций. Для очистки отобранных выхлопных газов, подаваемых к приборам для анализа на содержание окислов азота и углеводов, не используются обезвоживатели, осушители, водоотделители или аналогичное оборудование. Требования к различным компонентам подсистем приводятся в §5, а ниже приводится перечень некоторых ограничений и вариантов:

- 1) Предполагается, что в состав каждой отдельной подсистемы входят необходимые устройства для регулирования потока, кондиционирования и измерения.

- 2) Необходимость установки откачивающего насоса и (или) насоса для подачи горячих проб будет зависеть от способности анализирующей подсистемы удовлетворять требования в отношении времени подачи проб и массового расхода отобранных газов. В свою очередь, это зависит от давления подачи отобранных выхлопных газов и потерь в линиях. Считается, что в основном эти насосы потребуются при определенных условиях испытаний двигателя.
- 3) В случае необходимости местоположение насоса для подачи горячих проб по отношению к подсистемам анализа газов может быть изменено по сравнению с указанным на рисунке. (Например, некоторые анализаторы НС включают в себя насосы для подачи горячих проб и, следовательно, могут считаться пригодными для их установки перед насосом для подачи горячих проб данной системы).

Примечание. На рис. А5-1 и А5-2 изображены схемы системы отбора и анализа проб выхлопных газов, которая характеризует основные требования к испытаниям эмиссии.

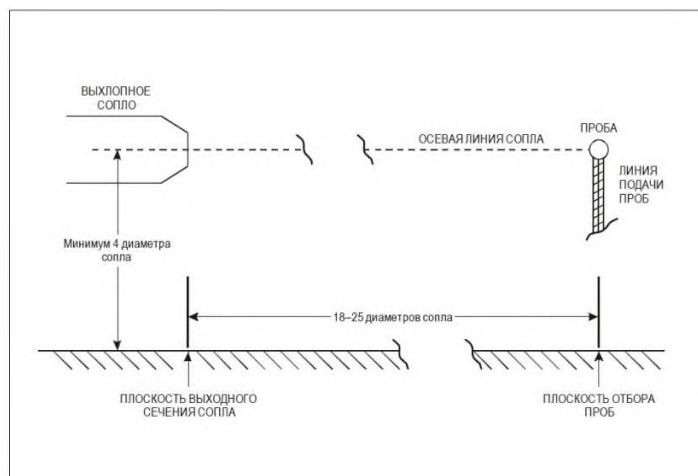


Рис. А5-1. Схема системы отбора проб

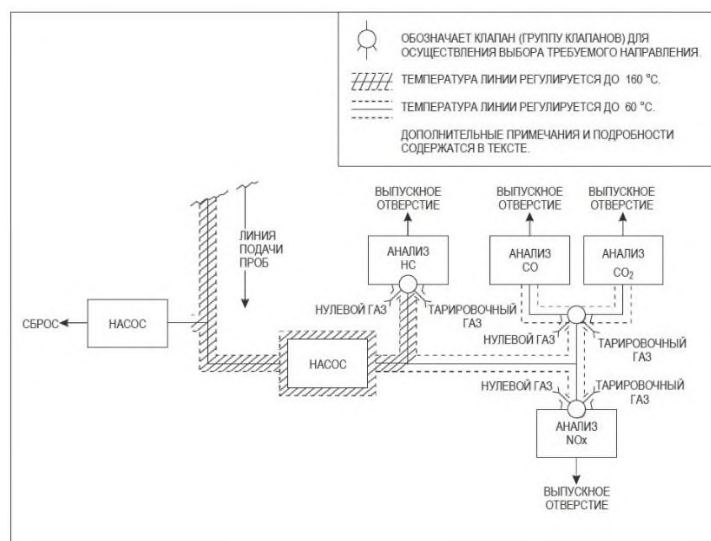


Рис. А5-2. Схема системы отбора и анализа проб

§ 5. ОПИСАНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Примечание. Ниже приводятся общее описание и характеристики основных элементов системы измерения характеристик выхлопных газов двигателей. Более подробное описание, когда это необходимо, дается в дополнениях А, В и С к настоящему добавлению.

5. Система отбора проб

- 1) **Пробоотборник** Конструкция пробоотборника позволяет производить отбор отдельных проб в различных точках поперечного сечения струи выхлопных газов. Смешивание проб не допускается.
- 2) В качестве материала, контактирующего с пробой, используется нержавеющая сталь, и ее температура поддерживается в пределах не менее 60 °C.
- 3) Плоскость отбора проб располагается перпендикулярно продолжению осевой линии сопла двигателя и по возможности ближе к точке, отстоящей от выходного сечения сопла на расстояние в 18 диаметров, в соответствии с ч.19 §9 главы III, но ни в коем случае не дальше 25 диаметров сопла. Диаметр выходного сечения

сопла берется по максимальной тяге двигателя. В объеме воздушного пространства между плоскостью выходного сопла и плоскостью отбора проб не должно быть никаких препятствий в радиальном направлении на расстоянии от оси сопла в 4 диаметра выходного сечения.

- 4) Для отбора проб используется по крайней мере 11 отдельных точек. Плоскость измерения, расположенная на расстоянии X от двигателя, разделена на три секции, отделенные окружностями, через центры которых проходит ось выхлопной струи и радиусы которых составляют:

$$R1 = 0,05X;$$

$$R2 = 0,09X.$$

6. Каждая секция должна содержать по крайней мере 3 точки для отбора проб. Разность между количеством точек для отбора проб в каждой секции должна быть менее 3. Наиболее удаленная от оси точка для отбора проб должна располагаться в радиусе от 0,11 до 0,16 X .

7. Линии подачи проб. Пробы подаются из пробоотборника в анализаторы по линии с внутренним диаметром 4,0–8,5 мм по кратчайшему маршруту, используя такое значение расхода, чтобы время подачи составляло менее 10 с. Температура в этой линии поддерживается в пределах $160\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с точностью до $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Когда отбор проб осуществляется с целью измерения составляющих HC , CO , CO_2 и NO_x , линия изготавливается из нержавеющей стали или шлифованного наполненного углеродом материала PTFE (политетрафторэтилена).

8. Анализатор углеводородов (HC). Измерение общего содержания углеводородов в пробе проводится с помощью анализатора, в котором между электродами подогретого пламеионизационного детектора (FID) проходит ионизационный ток, пропорциональный массовому расходу углеводородов, вступающих в процесс горения водорода. Предполагается, что анализатор включает в себя компоненты, предназначенные для регулирования температуры и расхода газов, содержащихся в пробах, перепуска газов, газового топлива и охлаждающих газов, и что он обеспечивает проведение эффективных контрольных тарировок диапазона и нуля.

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении А к настоящему добавлению.

9. Анализаторы окиси и двуокиси углерода (СО и СО₂). Для измерения этих компонентов используются нерассеивающие инфракрасные анализаторы, конструкция которых предусматривает использование принципа дифференциального поглощения энергии в параллельных элементах, чувствительных к стандартному и отобранному газам, причем элемент или группа элементов для каждого из этих компонентов газа соответствующим образом сенсублизованы. Предусматривается выполнение этой анализирующей подсистемой всех необходимых функций, связанных с управлением и регулированием потоков газа, содержащихся в пробах, а также потоков нулевого газа и поперечных потоков. Регулирование температуры отвечает требованиям независимо от того, в каком состоянии измеряется проба (влажном или сухом).

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении В к настоящему добавлению.

10. Анализатор окислов азота (NO_x). Измерение концентрации окиси азота (NO) проводится по методу хемилюминесценции, в соответствии с которым мера интенсивности излучения вступающей в реакцию NO с добавлением O₃ соответствует мере концентрации NO. До проведения измерения компонент NO₂ преобразуется в NO в конвертере, обладающем нужной эффективностью. Результирующая система измерения NO_x включает все необходимые устройства для регулирования тока, температуры и других параметров и обеспечивает возможность выполнения обычной процедуры тарировки нуля и диапазона измерения, а также проведения проверок эффективности конвертера.

Примечание. Общие технические требования приводятся в дополнении С к настоящему добавлению.

ГЛАВА II.

§ 6. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

11. Работа двигателя. Двигатель работает на открытом воздухе на стационарном испытательном стенде, который соответственно оборудован для проведения высокоточных испытаний характеристик и который отвечает требованиям для пробоотборника, указанным в ч.5 §5. Испытания с целью измерения параметров эмиссии проводятся при величинах тяги, определенных полномочным сертифицирующим органом. Обеспечивается стабильная работа двигателя при каждой величине тяги.

12. Условия окружающего воздуха. Замеры концентраций CO, HC, CO₂ и NO_x производятся в окружающем воздухе в испытательных условиях работы проверяемого двигателя. Чрезмерно высокие концентрации указанных веществ означают ненормальное состояние, например, попадание выхлопных газов в воздухозаборник двигателя, утечку топлива или наличие другой причины нежелательной эмиссии в зоне испытаний. Такое положение соответственно исправляется или ликвидируется.

Примечание. Следует руководствоваться такими показателями: нормальная концентрация CO₂ в окружающем воздухе составляет 0,03 % и при нормальных окружающих условиях уровни концентрации CO и HC не превышают 5 ppm, а NO_x – 0,5 ppm.

13. Следует избегать крайне сложных климатических условий, характеризующихся, например, выпадением осадков или чрезмерно высокой скоростью ветра.

§ 7. Основная тарировка приборов

Примечание. Основная цель такой тарировки заключается в том, чтобы убедиться в стабильности и линейности их характеристик.

14. Подающий заявку на проведение испытаний представляет полномочному сертифицирующему органу доказательства того, что система для анализа соответствующим образом тарирована ко времени проведения испытаний.

15. Что касается анализатора углеводородов, то при этой тарировке проверяется, находятся ли показания детектора кислорода и избирательные показания детектора углеводородов в пределах, установленных в дополнении А к настоящему добавлению. Проверяется также соответствие КПД конвертера NO₂/NO положениям дополнения С к настоящему добавлению.

16. При проверке характеристик каждого анализатора применяют указанную ниже методику (с использованием тарировочного и испытываемого газов, как указано в дополнении D к настоящему добавлению):

- 1) ввести нулевой газ и установить прибор на нуль, записав соответствующим образом его показания;
- 2) для каждого подлежащего использованию в работе интервала измерения ввести тарировочный газ, концентрация которого соответствует (номинально)

отклонению стрелки прибора на 90 % всего диапазона измерения прибора (FSD); соответствующим образом отрегулировать коэффициент усиления прибора и записать его показания;

- 3) ввести тарировочные газы, приблизительно соответствующие 30, 60 и 90 % от величины FSD, и записать показания анализатора;
- 4) провести прямую линию наименьших квадратов через точки, которые соответствуют концентрации, равной 0, 30, 60 и 90 %. Если будет признано необходимым, для основной модели анализатора CO и (или) CO₂ без линеаризации выхода проводится кривая наименьших квадратов соответствующей математической формы с использованием, при необходимости, дополнительных тарировочных точек. В случае если какая-либо точка отклоняется более чем на 2 % от значения всего диапазона измерения прибора (или ± 1 ppm*, в зависимости от того, что больше), для эксплуатационного применения подготавливается тарировочная кривая.

* Кроме анализатора CO₂, для которого это значение составляет ± 100 ppm.

§ 8. Пользование приборами

17. Измерения не проводятся до тех пор, пока все приборы и линии подачи проб не подогреты и не стабилизированы, а также не выполнены следующие проверки:

- 1) Проверка на утечку: до проведения серий испытаний система проверяется на утечку путем изоляции пробоотборника и анализаторов, подсоединения и включения вакуумного насоса, который по своим характеристикам эквивалентен насосу, используемому в системе измерения уровней дыма, с целью проверки того, что величина утечки в системе составляет менее 0,4 л/мин при условиях, соответствующих нормальным температуре и давлению.
- 2) Проверка на чистоту: изолировать систему отбора проб газа от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа. Подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания углеводородов. Включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную той, которая используется при испытаниях эмиссии двигателей. Зарегистрировать показание анализатора содержания углеводородов. Это показание не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через

содержание метана), в зависимости от того, какая величина является большей.

Примечание 1. Для того чтобы исключить значительное загрязнение линий подачи проб, хорошей практикой является обратная продувка этих линий во время работы двигателя, когда заборник пробы находится в струе выхлопных газов двигателя, но характеристики эмиссии не измеряются.

Примечание 2. Полезно также контролировать качество всасываемого воздуха в начале и в конце испытаний, а также по крайней мере через каждый час в ходе испытаний. Если уровни считаются значительными, то их необходимо учитывать.

18. Эксплуатационные измерения проводятся по следующей методике:

- 1) с помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов;
- 2) ввести тарировочный газ, концентрация которого соответствует (номинально) 90 % от величины концентрации FSD для всех подлежащих использованию интервалов измерения; соответствующим образом установить и записать значение коэффициента усиления;
- 3) после того как работа двигателя стабилизируется в требуемых эксплуатационных условиях с учетом места отбора проб, продолжить испытание двигателя и наблюдение за концентрацией загрязняющих веществ до тех пор, пока не будут получены стабильные показания, которые и регистрируются. Повторить процедуру измерений для остальных мест отбора проб при том же эксплуатационном режиме двигателя;
- 4) в конце испытания, а также во время испытаний через интервалы времени, не превышающие 1 ч, произвести повторную проверку нулевых и тарировочных точек. В случае, если какая-либо точка сместилась более чем на ± 2 % от всего диапазона измерения прибора, прибор вновь настраивается в установленных пределах и испытание повторяется.

ГЛАВА III. РАСЧЕТЫ

§ 9. Эмиссия газообразных веществ

18. Общие положения. В результате проведения аналитических измерений получают

значения концентрации различных классов загрязняющих веществ при соответствующем режиме(ах) форсажа двигателя для различных мест расположения плоскости отбора проб. Ниже указывается порядок определения других параметров, которые также регистрируются наряду с упомянутыми основными параметрами.

19. Анализ и подтверждение данных измерений

- 1) Данные, полученные на основе замеров концентрации в различных местах отбора проб для каждого режима работы двигателя, должны усредняться следующим образом:

$$C_{i \text{ moy}} = \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot$$

где

$\sum_{j=1}^n$ – общее число (n) точек, в которых производился отбор проб;

C_{ij} – концентрации вида i , измеренные в точке j отбора пробы;

$C_{i \text{ moy}}$ – средняя концентрация вида i .

Все результаты замера концентрации на сухой основе преобразуются в реальные концентрации на влажной основе (см. дополнение Е к настоящему добавлению).

- 2) Качество замеров каждого загрязняющего вещества определяется путем сравнения с замерами CO_2 , используя следующий коэффициент корреляции:

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} \text{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j}}{\sqrt{\left(\left\{ n \sum_{j=1}^n (\text{CO}_{2j})^2 - \left(\sum_{j=1}^n \text{CO}_{2j} \right)^2 \right\} \left\{ n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n C_{ij} \right)^2 \right\} \right)}}.$$

20. Значения r_i , близкие к 1, свидетельствуют о том, что результаты измерений, произведенных в течение всего периода отбора проб, достаточно стабильны и кривые являются кривыми Гаусса. В том случае, если r_i меньше 0,95, измерения должны быть повторены на большем удалении плоскости отбора проб от двигателя воздушного судна. После самого процесса измерения осуществляются те же вычисления и такое же демонстрирование наглядными примерами, как и раньше.

21. Основные параметры. Средняя концентрация каждого вида газообразных веществ для каждого эксплуатационного режима работы двигателя определяется, как показано в ч.19 §9 главы III; какие-либо необходимые поправки в отношении

$$EI_p \text{ (индекс эмиссии для компонента } p) = \frac{\text{масса образующего компонента } p \text{ в г}}{\text{масса используемого топлива в кг}};$$

$$EI(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m));$$

$$EI(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m));$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ (как NO}_2\text{)} = \left(\frac{[\text{NO}_x]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_C + (n/m)M_H} \right) (1+T(P_0/m));$$

$$\text{отношение воздуха к топливу} = (P_0/m) \left(\frac{M_{\text{воздуха}}}{M_C + (n/m)M_H} \right),$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{\text{rel}} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]},$$

замера проб на сухой основе и(или) интерференций вносятся, как указано в дополнении Е к настоящему добавлению. Эти средние концентрации используются для вычисления следующих основных параметров:

$M_{\text{воздуха}}$ – молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где уместно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;

M_{HC} – молекулярная масса углеводородов в выхлопной пробе, принимаемая как $\text{CH}_4 = 16,043$ г;

M_{CO} – молекулярная масса CO равна 28,011 г;

M_{NO_2} – молекулярная масса NO_2 равна 46,008 г;

M_C – масса атома углерода равна 12,011 г;

M_H – масса атома водорода равна 1,008 г;

R – концентрация O_2 в сухом воздухе по объему обычно равна 0,2095;

S – концентрация N_2 + редкие газы в сухом воздухе по объему обычно равна 0,7902;

T – концентрация CO_2 в сухом воздухе по объему обычно равна 0,0003;

$[\text{HC}]$ – средняя концентрация выхлопных углеводородов (объем/объем во влажных условиях), выраженных как углерод;

$[\text{CO}]$ – средняя концентрация CO (объем/объем во влажных условиях);

$[\text{CO}_2]$ – средняя концентрация CO_2 (объем/объем во влажных условиях);

$[\text{NO}_x]$ – средняя концентрация NO_x (объем/объем во влажных условиях) равна $[\text{NO}] + [\text{NO}_2]$;

$[\text{NO}]$ – средняя концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях);

$[\text{NO}_2]$ –

средняя концентрация NO₂ в выхлопной пробе (объем/объем во влажных условиях)

$$= \frac{[\text{NOx}]_c - [\text{NO}]}{\eta};$$

[NOx]_c – средняя концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер NO₂/NO (объем/объем во влажных условиях);

η – КПД конвертера NO₂/NO;

h_{vol} – влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);

m – количество атомов С в характеристической молекуле топлива;

n – количество атомов Н в характеристической молекуле топлива;

x – количество атомов С в характеристической молекуле выхлопных углеводородов;

y – количество атомов Н в характеристической молекуле выхлопных углеводородов.

22. Величина отношения атома водорода к атому углерода используемого топлива (*n/m*) определяется посредством анализа типа топлива. Влажность окружающего воздуха, *h*, измеряется для каждого конкретного условия. При отсутствии доказательств противного для характеристики (*x*, *y*) выхлопных углеводородов используются значения *x* = 1, *y* = 4. Если в измерениях должны использоваться сухие или полусухие СО и СО₂, значения их концентрации приводятся к эквивалентным значениям концентрации влажных СО и СО₂, как показано в дополнении Е, в котором также содержится формула внесения поправок на интерференцию для использования при необходимости.

Примечание. Приведенные в ч.23 §9 главы III и главе IV правила применимы только к испытаниям, при которых не использовался форсажный режим. Аналогичные правила для испытаний с использованием такого режима могут быть применены с одобрения полномочного сертифицирующего органа.

23. Приведение индексов эмиссии к стандартным условиям. С целью учета отклонений фактической температуры и давления воздуха на входе испытываемого двигателя от стандартных условий МСА на уровне моря вносятся поправки в измеряемые индексы эмиссии для всех загрязняющих веществ при всех соответствующих режимах работы двигателя. Стандартное значение влажности равно 0,00634 кг воды/кг сухого воздуха.

24. Следовательно, EI приведенный = *K* х EI измеренный, где общее выражение для

K:

$$K = (P_{B_{ст}}/P_B)^a \times (FAR_{ст}/FAR_B)^b \times \exp ([T_{B_{ст}} - T_B]/c) \times \exp (d[h_{vol} - 0,00634]),$$

где P_B – измеренное давление на входе в камеру сгорания;

T_B – измеренная температура на входе в камеру сгорания;

FAR_B – отношение топлива к воздуху в камере сгорания;

h_{vol} – влажность окружающего воздуха;

$P_{ст}$ – давление на уровне моря (МСА);

$T_{ст}$ – температура на уровне моря (МСА);

$P_{B_{ст}}$ – давление на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя), связанные с T_B при условиях МСА на уровне моря;

$T_{B_{ст}}$ – температура на входе в камеру сгорания испытываемого двигателя при условиях МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя). Эта температура установлена относительно уровня тяги, определенного для каждого режима работы двигателя;

$FAR_{ст}$ – отношение топлива к воздуху в камере сгорания испытываемого двигателя при условии МСА на уровне моря (или исходного двигателя, если данные скорректированы относительно исходного двигателя);

a, b, c, d – расчетные постоянные, которые могут быть различными для каждого загрязнителя и каждого типа двигателя.

25. Предпочтительнее измерять параметры на входе в камеру сгорания, но они могут также высчитываться относительно окружающих условий с помощью соответствующей формулы.

26. Использование рекомендуемой методики нанесения кривой по точкам в целях установления соотношения индексов эмиссии к температуре на входе в камеру сгорания эффективно исключает выражение $\exp ([T_{Bст} - T_{Bст}]/c)$ из общего уравнения, и в большинстве случаев выражение $(FAR_{ст}/FAR_B)$ может считаться единицей. Для индексов эмиссии СО и НС многие органы, проводящие испытания, определили, что член, учитывающий влажность, достаточно близок к единице и его можно исключить из общего выражения, а также что показатель степени выражения $(P_{Bст}/P_B)$ близок к единице.

Таким образом,

$EI(CO)$ приведенный = EI , полученный из кривой зависимости

$(P_B / P_{Bст}) \square EI(CO)$ от T_B ; $EI(НС)$ приведенный = EI ,

полученный из кривой зависимости $(P_B / P_{Bст}) \square EI(НС)$ от T_B ;

$EI(NO_x)$ приведенный = EI , полученный из кривой зависимости $EI(NO_x) (P_{Bст} / P_B)^{0,5exp} (19[h_{vol} - 0,00634])$ от T_B .

27. В том случае, когда данный рекомендуемый метод коррекции индексов эмиссии СО и НС не обеспечивает удовлетворительной корреляции, может применяться альтернативный метод с использованием параметров, полученных в отдельных испытаниях.

28. Любые другие применяемые методы внесения поправок в индексы эмиссии СО, НС и NO_x утверждаются полномочным сертифицирующим органом.

ГЛАВА IV. Величины, входящие в контрольный параметр (D_p , F_{oo} , π)

§ 10. Определения

D_p – масса любого газообразного загрязняющего вещества, выделяемого в атмосферу в течение стандартного цикла эмиссии при посадке и взлете.

F_{oo} – утвержденная соответствующим сертифицирующим органом максимальная тяга, необходимая для взлета при нормальных эксплуатационных условиях в статических условиях МСА на уровне моря без использования впрыска воды.

π – отношение средней величины полного давления в выходной плоскости последней ступени компрессора к средней величине полного давления во входной плоскости первой ступени компрессора в момент, когда двигатель развивает номинальную взлетную тягу в статических условиях МСА на уровне моря.

29. Индексы эмиссии (EI) для каждого загрязнителя с внесенными, как указано в ч.23 §9 главы III, поправками на давление и влажность относительно стандартных атмосферных условий и, по мере необходимости, относительно исходного двигателя получают для требуемых эксплуатационных режимов цикла *LTO* (*n*), т. е. при работе двигателя на режиме малого газа, при заходе на посадку, при наборе высоты и взлете, с учетом эквивалентных скорректированных условий тяги. В целях определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для каждого загрязняющего вещества определяются следующие зависимости:

- 1) между EI и T_B ;
- 2) между W_f (массовый расход топлива) и T_B ;
- 3) между F_n (приведенным к условиям МСА на уровне моря) и T_B (приведенной к условиям МСА на уровне моря).

Примечание. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А5-3 а), b) и с).

30. Когда испытываемый двигатель не является "исходным" двигателем, данные могут корректироваться относительно "исходного" двигателя с использованием при этом зависимостей 2) и 3), полученных для исходного двигателя. Исходный двигатель определен как двигатель, в значительной мере соответствующий конфигурации двигателя, представленного на сертификацию и принятого АГАТ в качестве данного типа двигателя, представленного на получение сертификата.

31. Кроме того, изготовитель представляет АГАТ все необходимые данные о технических характеристиках двигателей с целью обоснования этих зависимостей и для условий МСА на уровне моря:

- 4) максимальная тяга (F_{oo});
- 5) степень повышения давления в двигателе (π) на максимальной тяге.

Примечание. Эти данные приводятся на рис. А5-3 d).

32. Оценка EI для каждого загрязняющего вещества при каждом требуемом режиме работы двигателя, приведенная к стандартным условиям окружающего воздуха, проводится в соответствии со следующей общей процедурой:

- 1) определить эквивалентную температуру на входе в камеру сгорания (T_B) (рис. А5-3 с)) для каждого режима тяги для условий МСА F_n ;
- 2) на основе характеристики EI/ T_B (рис. А5-3 а)) определить величину EI_n, соответствующую T_B ;
- 3) на основе характеристики W_f/T_B (рис. А5-3 b)) определить величину W_{fn} , соответствующую T_B ;
- 4) записать величины максимальной тяги и степени повышения давления для условий МСА. Соответственно они будут представлять собой F_{oo} и π (рис. А5-3 d));
- 5) для каждого загрязняющего вещества рассчитать

$$D_p = \Sigma(EI_n) (W_{fn}) (t), \text{ где} \quad t - \text{ время работы на}$$

режиме в течение LTO (в минутах);

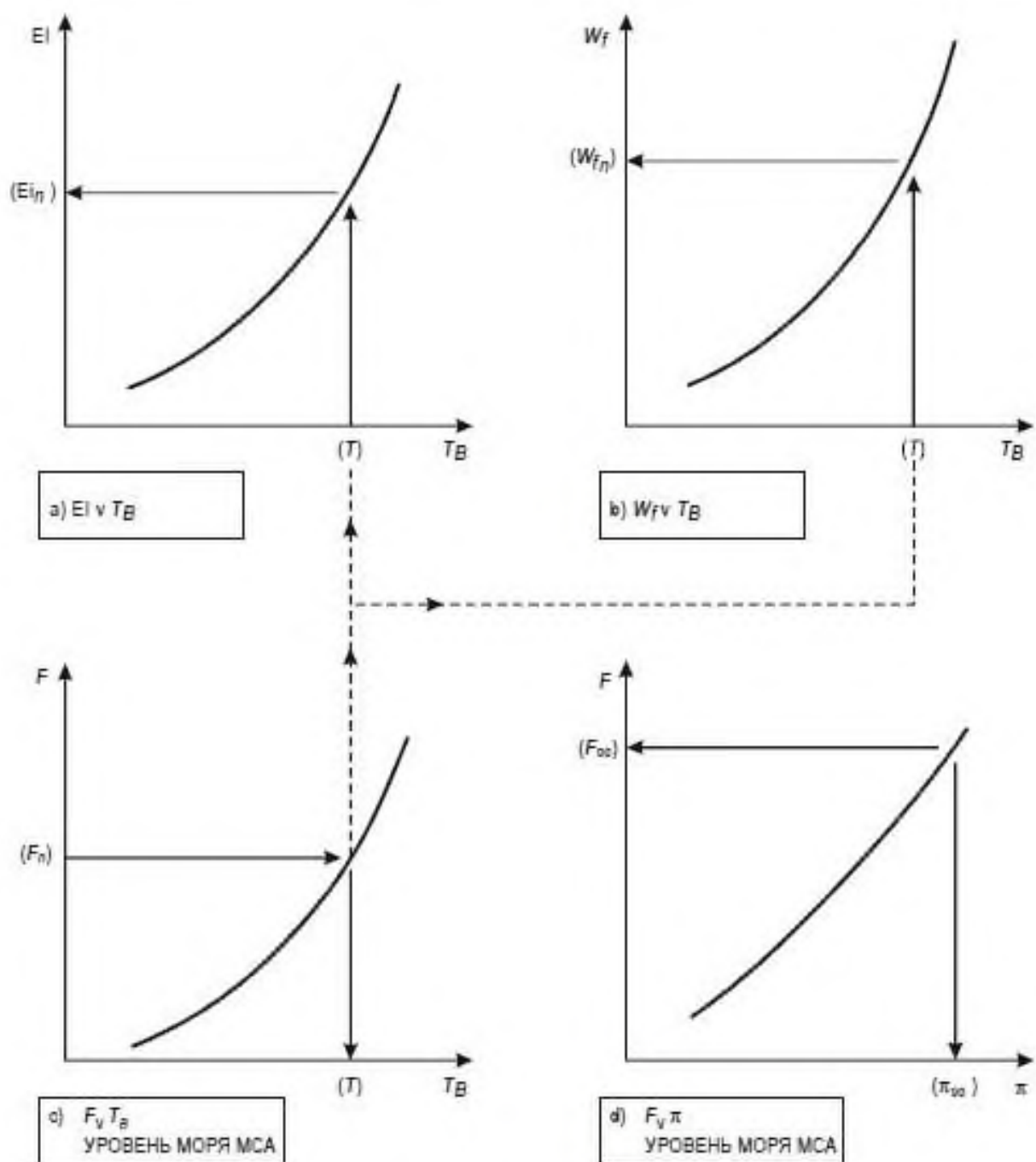
W_{fn} – массовый расход топлива (кг/мин);

Σ – означает совокупность режимов, используемых на протяжении исходного цикла LTO.

33. Несмотря на то что описанная выше методология является рекомендуемым методом, полномочный сертифицирующий орган может одобрить равноценную математическую процедуру, в которой употребляется математическое выражение, задающее изображенные кривые, если выражения получены путем использования принятой методики нанесения кривой по точкам.

§ 11. Исключения из предлагаемых правил

34. В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других условий не позволяют использовать это правило, сертифицирующий орган после получения достаточных технических доказательств, подтверждающих получение равноценных результатов с помощью альтернативного правила, может его утвердить.



EI – ИНДЕКС ЭМИССИИ.
 T_B – ТЕМПЕРАТУРА НА ВХОДЕ В КАМЕРУ СГОРАНИЯ.
 W_f – МАССОВЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА.
 F – ТЯГА ДВИГАТЕЛЯ.
 π – СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ.

Рис. А5-3. Порядок расчета

ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ НС

Примечание 1. Как указано в ч.8 §5 добавления 5, чувствительным элементом этого анализатора является пламенионизационный 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, за вычетом тока ионизации, соответствующего отсутствию ввода пробы в пламя, усиливается, 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.

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. 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 учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

2. Подлежащий использованию прибор обеспечивает поддержание в нем заданной температуры детектора и частей, вступающих в непосредственный контакт с пробой газа, в интервале 155–165 °C при стабильности ± 2 °C. При условии, что чувствительность детектора является оптимальной и прибор в целом стабилизирован, к основным техническим характеристикам относятся следующие:

1) *Полный диапазон измерения:* 0–500 ppmC в соответствующих интервалах измерения.

2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 0,5 ppmC, в зависимости от того, что больше.

3) *Повторяемость:* не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 0,5$ ppmC, в зависимости от того, что больше.

- 4) *Стабильность*: не хуже $\pm 2\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 1,0$ ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 5) *Дрейф нуля*: менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 0,5$ ppmC в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 8) *Шумы*: 0,5 Гц и больше, менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или $\pm 0,5$ ppmC, в зависимости от того, что больше.
- 9) *Время срабатывания*: не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- 10) *Линейность*: зависимость выходного сигнала от состава воздушно-пропановой смеси является линейной в каждом интервале измерения в пределах $\pm 2\%$ от диапазона измерений прибора, в противном случае вводятся тарировочные поправки.

§ 2. СИНЕРГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Примечание. В процессе проведения испытаний на точность измерения могут влиять два нижеуказанных аспекта характеристик:

- 1) *кислородный эффект (когда различные пропорции кислорода, присутствующего в пробе, обуславливают различные индикаторные концентрации углеводорода при его постоянной фактической концентрации)*
и
- 2) *относительная реакция на углеводород (когда имеет место различная реакция на концентрацию углеводородов в одной и той же пробе, выраженную через эквивалентное число ppmC, которое зависит от класса или примеси различных классов углеводородных соединений). Степень отмеченного выше влияния определяется, как указано ниже, и соответственно ограничивается. Реакция на кислород: измерить реакцию на две следующие смеси пропана с содержанием приблизительно 500 ppmC, определенным с относительной точностью до $\pm 1\%$:*
 - а) смесь пропана с $10\% \pm 1\% \text{ O}_2$ (остальное N_2),

б) смесь пропана с $21 \% \pm 1 \% \text{O}_2$ (остальное N_2),

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

4. *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 1%

1) пропан в нулевом воздухе,

2) пропилен в нулевом

воздухе,

3) толуол в нулевом

воздухе,

4) n-гексан в нулевом воздухе.

5. 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 $5 \% R_a$.

§ 3. ОПТИМАЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ ДЕТЕКТОРА И РЕГУЛИРОВКА

6. Соблюдаются инструкции изготовителя о порядке первоначальной настройки и о требуемом вспомогательном обслуживании в обеспечении; необходимо 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 горелку. После этого определяется реакция прибора на кислород и дифференциальная реакция на углеводород, как указано выше.

7. Линейность каждого диапазона измерения анализатора проверяется с помощью

проб воздушно-пропановой смеси, концентрация которой соответствует отклонению стрелки прибора приблизительно на 30, 60 и 90 % всего диапазона измерения прибора. Максимальное отклонение любого из этих показаний от прямой линии наименьших квадратов, соединяющей данные точки с нулем, не превышает ± 2 % от всего диапазона измерения прибора. Если отклонение превышает эту величину, строится тарировочная кривая для эксплуатационного использования.

ДОПОЛНЕНИЕ Б К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРАМ СО И СО₂

Примечание 1. В ч.9 §5 добавления 5 приводятся характеристики анализирующей подсистемы, подлежащей применению при отдельных измерениях концентрации СО и СО₂ в пробе выхлопных газов. Приборы основаны на принципе недисперсионного поглощения инфракрасного излучения в параллельных элементах, заполненных эталонным и отобраным газом. Требуемые диапазоны чувствительности определяются путем использования ряда элементов, чувствительных к отобранному газу, путем изменения электронной схемы, или обоими способами. Влияние газов, имеющих перекрывающиеся полосы поглощения, может быть сведено к минимуму с помощью газопоглощающих фильтров и (или) оптических фильтров (предпочтительнее с помощью последних).

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

1. 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 учитывается возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

К основным техническим характеристикам относятся следующие:

2. Анализатор СО

- 1) *Полный диапазон измерения:* 0–2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- 2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 3) *Повторяемость:* не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 4) *Стабильность:* не хуже ± 2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

5) *Дрейф нуля*: менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 2 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm, в зависимости от того, что больше.

7) *Интерференция*: должна быть ограничена следующим образом в зависимости от зарегистрированной концентрации CO при:

а) менее 500 ppm на каждый процент концентрации этилена;

б) менее 2 ppm на каждый процент концентрации CO₂;

в) менее 2 ppm на каждый процент концентрации водяных паров³.

3. Если интерференция для CO₂ и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

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

Анализатор CO₂

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

2) *Разрешающая способность*: не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 100 ppm, в зависимости от того, что больше.

3) *Повторяемость*: не хуже $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm, в зависимости от того, что больше.

4) *Стабильность*: не хуже $\pm 2\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

5) *Дрейф нуля*: менее $\pm 1\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.

* ³ Нет необходимости применять в случае проведения измерений в "сухом" состоянии.

- 6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 100 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 7) Проверяется влияние кислорода (O_2) на чувствительность анализатора CO_2 . При изменении содержания O_2 от 0 до 21 % чувствительность при данной концентрации CO_2 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.

4. Анализаторы CO и CO_2

- 1) *Время срабатывания*: не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- 2) *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 ± 2 °C. Допускается измерение CO и CO_2 в сухом состоянии (с использованием соответствующих водоотделителей); в этом случае разрешается использовать ненагретые анализаторы, при этом нет необходимости определять пределы интерференции для паров H_2O , однако требуется введение поправок на влажность окружающего воздуха и на содержание водяных паров в продуктах горения.
- 3) *Калибровочные кривые*:
- а) 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

± 2 % от величины полной шкалы. Если это не обеспечивается, то строится калибровочная кривая для практического применения.

б) 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.

ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗАТОРУ NO_x

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

1. Как указано в ч.10 §5 добавления 5, измерение содержания окислов азота осуществляется по методу хемилюминесценции, с помощью которого измеряется излучение, выделяемое при реакции NO и O₃. Этот метод не обеспечивает точного определения NO₂, поэтому прежде чем измерить общее содержание NO_x, пробу газа пропускают через конвертер, в котором NO₂ преобразуется в NO. Регистрируется как первоначальное содержание NO, так и общее содержание NO_x. Таким образом, содержание NO₂ определяется по разнице.

2. Подлежащий использованию прибор включает в себя все необходимые компоненты, регулирующие расход, например, регуляторы, клапаны, расходомеры и т. д. Материалы, вступающие в непосредственный контакт с пробой газа, обладают способностью противостоять воздействию окислов азота, например, нержавеющей сталь, стекло и т. д. Температура отобранных газов везде выдерживается в пределах, соответствующих местному давлению, с тем чтобы исключить возможность конденсации воды.

3. 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 необходимо учитывать возможность и важность таких повышенных ошибок. В тех случаях, когда требуется обеспечить лучшие характеристики, принимаются соответствующие меры предосторожности.

4. К основным техническим характеристикам, определяемым для прибора, работающего при температуре окружающей среды, стабильной в пределах 2 °C, относятся следующие:

- 1) *Полный диапазон измерения:* 0 – 2500 ppm в соответствующих интервалах измерения.
- 2) *Разрешающая способность:* не хуже 0,5 % от всего используемого диапазона измерения прибора или 1 ppm, в зависимости от того, что больше.

- 3) *Повторяемость*: не хуже ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 4) *Стабильность*: не хуже ± 2 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 5) *Дрейф нуля*: менее ± 1 % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 1 ч, в зависимости от того, что больше.
- 6) *Шум*: 0,5 Гц и больше; менее $\pm 1,0$ % от всего используемого диапазона измерения прибора или ± 1 ppm в течение 2 ч, в зависимости от того, что больше.
- 7) *Интерференция*: влияние для отобранных газов, содержащих CO₂ и водяные пары, ограничивается следующим образом:

- а) менее 0,05 % от показания прибора на каждый процент содержания CO₂;
- б) менее 0,1 % от показания прибора на каждый процент содержания водяных паров.

5. Если интерференция для CO₂ и (или) водяных паров не может быть ограничена в таких пределах, определяются, сообщаются и вводятся соответствующие поправочные коэффициенты.

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

- 8) *Время срабатывания*: не превышает 10 с с момента ввода пробы газа в анализирующую систему до отклонения стрелки на 90 % от конечного показания прибора.
- 9) *Линейность*: не хуже $\pm 2\%$ от всего используемого диапазона измерения прибора или 2 ppm, в зависимости от того, что больше.
- 10) *Конвертер*: проектируется и эксплуатируется таким образом, что содержащаяся в пробе NO₂ эффективно преобразуется в NO. Конвертер не воздействует на NO, первоначально содержащуюся в пробе.

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

7. Это значение КПД используется для приведения изменяемого количества NO_2 , содержащегося в пробе (т. е. $[\text{NOx}]_c - [\text{NO}]$), к тому количеству, которое было бы получено, если бы КПД не составлял 100 %.

ДОПОЛНЕНИЕ Г К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТАРИРОВОЧНЫЕ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ГАЗЫ

1. Таблица тарифовочных газов

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность*</i>
НС	пропан в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или $\pm 0,05$ ppm**
CO ₂	CO ₂ в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или ± 100 ppm**
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 2\%$ или ± 2 ppm**
NO _x	NO _x в нулевом азоте	$\pm 2\%$ или ± 1 ppm

* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.

** В зависимости от того, что больше.

Вышеуказанные газы требуются для проведения обычной
тарифовки анализаторов во время нормального
рабочего использования.

2. Таблица испытательных газов

<i>Анализатор</i>	<i>Газ</i>	<i>Точность*</i>
НС	пропан (10 $\pm$ 1) % O ₂ в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1\%$
НС	пропан в (21 $\pm$ 1) % O ₂ в равновесии с нулевым азотом	$\pm 1\%$
НС	пропилен в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
НС	толуол в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
НС	п-гексан в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
НС	пропан в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
CO ₂	CO ₂ в нулевом азоте	$\pm 1\%$
CO	CO в нулевом воздухе	$\pm 1\%$
NO _x	NO в нулевом азоте	$\pm 1\%$

* Берется в 95 %-ном доверительном интервале.

Вышеуказанные газы требуются для проведения испытаний,
описываемых в дополнениях А, В и С.

3. Тарифовочные газы окиси углерода в двуокиси углерода могут смешиваться отдельно или в виде двухкомпонентных смесей. Трехкомпонентные смеси окиси углерода, двуокиси углерода и пропана в нулевом воздухе могут использоваться в том случае, если обеспечивается стабильность смеси.

4. Нулевым газом для анализатора CO, CO₂ и НС является нулевой воздух (который

представляет собой "искусственный" воздух, состоящий из смеси 20–22 % O₂ с N₂). Для анализатора NO_x в качестве нулевого газа применяется нулевой азот. Содержание примесей в обоих типах нулевого газа ограничивается следующими величинами:

1 ppm C,
1 ppm CO,
100 ppm CO₂,
1 ppm NO_x.

5. Подающий заявку обеспечивает, чтобы поставляемые ему технические газы фактически соответствовали данным требованиям или чтобы это соответствие гарантировалось поставщиком.

ДОПОЛНЕНИЕ Д К ДОБАВЛЕНИЮ 5. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭМИССИИ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВНЕСЕНИЕ ПОПРАВКИ В РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ЧИСЛОВОЙ МЕТОД

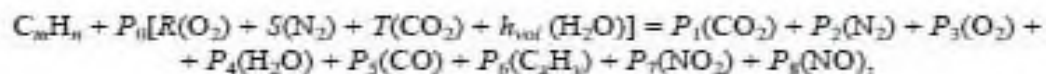
§ 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

AFR	– отношение воздуха к топливу. Отношение массового расхода сухого воздуха к массовому расходу топлива;
EI	– индекс эмиссии; $10^3 \square$ массовый расход газообразного продукта эмиссии на выхлопе/удаленный массовый расход топлива;
K	– отношение концентрации, измеренной во влажных условиях, к концентрации, измеренной в сухих условиях (после холодного паросепаратора);
L, L'	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции CO_2 ;
M, M'	– коэффициент интерференции анализатора для интерференции H_2O ;
$M_{\text{Воздуха}}$	– молекулярная масса сухого воздуха равна 28,966 г или, где удобно, равна $(32 R + 28,156 4 S + 44,011 T)$ г;
M_{CO}	– молекулярная масса CO равна 28,011 г;
M_{HC}	– молекулярная масса характеристического выхлопного углеводорода, принятого за CH_4 , равна 16,043 г;
M_{NO_2}	– молекулярная масса NO_2 равна 46,008 г;
M_C	– масса атома углерода равна 12,011 г;
M_H	– масса атома водорода равна 1,008 г;
P_1	– количество молей CO_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_2	– количество молей N_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_3	– количество молей O_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_4	– количество молей H_2O в выхлопной пробе на моль топлива;
P_5	– количество молей CO в выхлопной пробе на моль топлива;
P_6	– количество молей C_xH_y в выхлопной пробе на моль топлива;
P_7	– количество молей NO_2 в выхлопной пробе на моль топлива;
P_8	– количество молей NO в выхлопной пробе на моль топлива;
P_T	– $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$;
R	– концентрация O_2 в сухом воздухе по объему обычно равна 0,2095;
S	– концентрация N_2 + редкие газы в сухом воздухе по объему равна 0,7902;

T	– концентрация CO_2 в сухом воздухе по объему обычно равна 0,0003;
P_0	– количество молей воздуха на моль топлива в начальной смеси воздух/топливо;
Z	– условное обозначение, используемое и определенное в п. 3.4;
$[\text{CO}_2]$	– средняя концентрация CO_2 в выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{CO}]$	– средняя концентрация CO в выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{HC}]$	– средняя концентрация углеводорода выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{NO}]$	– средняя концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{NO}_2]$	– средняя концентрация NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{NOx}]$	– средняя концентрация NO и NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем);
$[\text{NOx}]_c$	– средняя концентрация NO в выхлопной пробе после прохождения через конвертер NO_2/NO (объем/объем);
$[]_d$	– средняя концентрация в выхлопной пробе после холодного паросепаратора (объем/объем);
$[]_m$	– средняя измеренная концентрация до введения инструментальной поправки (объем/объем);
h_{vol}	– влажность окружающего воздуха (объем воды/объем сухого воздуха);
h_d	– влажность выхлопной пробы на выходе "сушильной установки" или "холодильного паросепаратора" (объем воды/объем сухой пробы);
m	– количество атомов C в характеристической молекуле топлива;
n	– количество атомов H в характеристической молекуле топлива;
x	– количество атомов C в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
y	– количество атомов H в характеристической молекуле выхлопного углеводорода;
η	– КПД конвертера NO_2/NO .

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ EI и AFR

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



из которого требуемые параметры могут быть определены как

$$EI(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$$

$$EI(HC) = xP_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right) - \text{выражен как эквивалент метана};$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{mM_C + nM_H} \right) - \text{выражен как эквивалент } NO_2;$$

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

2. Величины углеводородного состава топлива (m , n) определяются спецификацией топлива или путем анализа. Если таким образом определено только отношение n/m , может устанавливаться величина $m = 12$. Обычно грамм-молекулярные части составляющих сухого воздуха (R , S , T) берутся равными рекомендуем стандартным величинам, однако могут устанавливаться альтернативные величины при соблюдении ограничения $R + S + T = 1$ и при утверждении полномочным сертифицирующим органом.

3. Влажность окружающего воздуха, h_{vol} , измеряется в каждом режиме испытаний. Рекомендуется, чтобы при отсутствии доказательств противного для характеристик (x, y) выхлопного углеводорода устанавливались величины $x = 1$ и $y = 4$.

4. Для определения остальных неизвестных величин требуется решить следующую систему линейных уравнений, из которых уравнения (1) – (4) вытекают из основных законов сохранения атомной массы, а уравнения (5) – (9) представляют зависимость концентрации газообразных продуктов.

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[\text{CO}_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[\text{CO}] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[\text{HC}] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[\text{NOx}]_c P_T = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[\text{NO}] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

5. Вышеуказанная система условных уравнений относится к тому случаю, когда все измеренные концентрации являются истинными, т. е. не подвержены влиянию интерференции и нет необходимости вносить поправки на высушивание пробы. На практике обычно наблюдается значительное влияние интерференции при замерах CO, NOx и NO и часто используется возможность замера CO₂ и CO на сухой или частично сухой основе. Необходимые преобразования соответствующих уравнений описаны в ч.6 §2 и ч.7 §2.

6. Эффекты интерференции в основном обусловлены наличием CO₂ и H₂O в пробе, которые могут совершенно различным образом повлиять на работу анализаторов CO и NOx. Анализатор CO подвержен эффекту смещения нуля, а анализатор NOx – изменения чувствительности, что учитывается следующими выражениями:

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L [\text{CO}_2] + M [\text{H}_2\text{O}]$$

и

$$[\text{NOx}]_c = [\text{NOx}]_{cm} (1 + L' [\text{CO}_2] + M' [\text{H}_2\text{O}]),$$

которые преобразуют в следующие уравнения, альтернативные уравнениям (6), (8) и (9), если необходимо внести поправки на влияние интерференции:

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L P_1 + M P_4) = \square P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L P_1 + M P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

7. Альтернативный замер концентраций CO_2 и CO на сухой или частично сухой основе пробы, т. е. с пониженной до h_d влажностью пробы, требует применения следующих преобразованных условных уравнений:

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots \dots \dots (5A)$$

и

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5.$$

8. Однако, как описано в ч.6 §2, анализатор CO может также подвергаться влиянию интерференции, поэтому полное альтернативное уравнение для замера концентрации CO принимает вид:

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5 \dots \dots \dots (6B)$$

§ 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ

9. Общие положения. Уравнения (1) – (10) могут быть преобразованы в аналитические выражения для параметров EI и AFR, как показано в п. 7.1 настоящего дополнения. Это преобразование представляет собой процесс постепенного исключения корней P_o , P_1 – P_8 , P_T , при этом допуская, что все замеры концентрации определены для "влажной" пробы и не требуют внесения поправок на интерференцию или других аналогичных поправок. На практике часто используется возможность выбора проводить замеры концентрации CO_2 и CO на "сухой" или "полусухой" основе; также часто возникает необходимость вносить поправки на интерференцию. Выражения для использования в этих различных условиях приведены в ч.10 §3, ч.11 §3 и ч.12 §3.

10. Уравнение приведения результатов замеров сухой концентрации к концентрации на влажной основе

Влажная концентрация = K x сухая концентрация, т. е.

$$[] = K []_d.$$

Если CO и CO_2 определены на "сухой" основе, используется следующее выражение

для K :

$$K = \frac{\{4 + (n/m)T + ([n/m]T - 2h_{vol})([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol})([y/x] - [n/m])[HC](1 + h_d)\}}{(2 + h_{vol})\{2 + (n/m)(1 + h_d)([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m]T - 2h_{vol})(1 - [1 + h_d][CO]_d)}$$

11. Поправка на интерференцию. В результате замеров CO и(или) NO_x и NO , возможно, потребуется вносить поправки на интерференцию CO_2 пробы и концентрации воды до использования в аналитических уравнениях выше. Такие поправки обычно могут выражаться следующими путями:

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

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M \left(\frac{h_d}{1 + h_d} \right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L' [CO_2] + M' [H_2O]);$$

$$\eta[NO_2] = ([NO_x]_{cm} - [NO]_m (1 + L' [CO_2] + M' [H_2O])).$$

12. Уравнение определения содержания воды в пробе

Концентрация воды в пробе

$$[H_2O] = \frac{((n/2m) + h_{vol}[P_0/m])([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC],$$

где

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

и

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

13. Следует отметить, что такое определение концентрации воды является функцией различных данных анализа концентрации, которые сами могут нуждаться в коррекции на интерференцию воды. В этих случаях для получения большей

точности необходимы повторные замеры с последующим пересчетом концентрации воды до тех пор, пока не будет получена требуемая стабильность результатов. Этого не требуется при использовании альтернативного, числового метода решения (4).

14. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД: ЧИСЛОВОЕ РЕШЕНИЕ

15. В качестве альтернативы аналитическому методу, изложенному в §3, индексы эмиссии, отношение воздуха к топливу, скорректированные концентрации во влажных условиях и т. д. можно легко получить путем числового решения уравнений (1) – (10) для каждой серии замеров на цифровой вычислительной машине.

16. Для учета поправок на интерференцию и (или) измерений высушенных проб в системе уравнений (1) – (10) фактические результаты замеров концентрации заменены теми альтернативными уравнениями (5А), (6А) и т. д., которые приемлемы для конкретной измерительной системы.

17. Подходящие простые машинные программы с двумерным массивом для решения уравнений широко распространены, они удобны и гибки в использовании для указанных целей и позволяют легко вводить и определять любые методы высушивания проб, поправки на интерференцию или другие поправки.

ДОПОЛНЕНИЕ Е К ДОБАВЛЕНИЮ 5. ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. В соответствии с требованиями, изложенными в ч.2 §3 добавления 5, кроме измеренной концентрации компонентов отобранного газа, требуются также следующие данные:

- 1) температура на входе: измеряется полная температура с точностью $\pm 0,5$ °C в точке, расположенной от входного сечения воздухозаборника двигателя в пределах одного его диаметра;
- 2) влажность на входе (кг воды/кг сухого воздуха): измеряется на расстоянии в пределах 15 м по оси входного сечения воздухозаборника двигателя с точностью ± 5 %;
- 3) атмосферное давление: измеряется в пределах 1 км от места испытания двигателя с точностью ± 100 Па; при необходимости вводится поправка на высоту испытательного стенда;
- 4) массовый расход топлива: прямое измерение с точностью ± 2 %;
- 5) отношение Н/С топлива: определяется отношением n/m , где $C_m H_n$ – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа топлива двигателя;
- 6) параметры двигателя:
 - а) тяга: прямое измерение с точностью ± 1 % на режиме взлетной тяги и ± 5 % при минимальной тяге, используемой при сертификационных испытаниях, с линейным изменением между этими величинами;
 - б) скорость вращения ротора: прямое измерение с точностью по крайней мере $\pm 0,5$ %;
 - в) расход воздуха в газогенераторе: определяется с точностью ± 2 % на основе тарировки характеристик двигателя.

2. Параметры, указанные в подпунктах 1), 2), 4) и 6), определяются в начале каждого испытания на эмиссию двигателей, в то время как параметр, указанный в подпункте 3), определяется с интервалом не менее чем 1 ч в период испытаний на эмиссию.

ДОБАВЛЕНИЕ 6. ПОРЯДОК ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ ПО ЭМИССИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ, ЭМИССИИ ДЫМА И ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. При соблюдении нормативных уровней, указанных в §3 главы II части III, §4 главы II части III, §3 главы III части III, §4 главы III части III и §3 главы IV части III, придерживаются следующих общих принципов:

- 1) изготовителю разрешается выбирать для сертификационного испытания любое количество двигателей и даже, если он желает, представить для этого только один двигатель;
- 2) все полученные во время сертификационных испытаний результаты принимаются во внимание сертифицирующим полномочным органом;
- 3) по крайней мере проводится три испытания двигателя; если представлен только один двигатель для сертификации, он должен быть опробован по крайней мере три раза;
- 4) если данный двигатель (i) опробован несколько раз, то среднее арифметическое значений (X_i), полученных во время испытаний, считается средней величиной для этого двигателя (i). После этого результатом сертификации считается среднее арифметическое значение величин (X_i), полученных по каждому опробованному двигателю;
- 5) изготовитель представляет АГАТ информацию, указанную соответственно в §5 главы II части III, §5 главы III части III, §3 главы IV части III, и/или §4 главы IV части III;
- 6) представленные для испытаний двигатели 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 поправок в этот исходный стандартный двигатель относительно любых других опробованных двигателей утверждаются АГАТ. Методы внесения поправок в результаты испытаний относительно окружающих условий приводятся соответственно в главе II добавления 3 и главе III добавления 5 или

§ 2. ПОРЯДОК ДЕМОНСТРАЦИИ СООТВЕТСТВИЯ

2. Газообразная эмиссия и число дымности. АГАТ выдает сертификат о соответствии нормам, если среднее значение измеренных и скорректированных величин (относительно исходного стандартного двигателя и исходных атмосферных условий) для всех опробованных двигателей при переводе в характерный уровень с использованием соответствующего коэффициента, определенного, как указано в таблице А6-1, числом опробованных двигателей (i), не превышает нормативного уровня.

Примечание. Как указано в таблице А6-1, характерный уровень числа дымности или газообразной эмиссии является средним значением величин, полученных при опробовании всех двигателей, а в отношении только газообразной эмиссии – соответственно скорректированным относительно исходного стандартного двигателя и исходных атмосферных условий значением, разделенным на коэффициент, соответствующий числу опробованных двигателей.

3. Эмиссия твердых частиц. Сертифицирующий полномочный орган выдает сертификат о соответствии нормам, если средние измеренные, с поправками на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб максимальные значения массовой концентрации нЛТЧ для всех опробованных двигателей при переводе в характерный уровень с использованием соответствующего коэффициента, определенного, как указано в таблице А6-1, числом опробованных двигателей (i), не превышают нормативного уровня.

Примечание. Как указано в таблице А6-1, характерный уровень максимальной массовой концентрации нЛТЧ является средним значением максимальных величин, полученных при опробовании всех двигателей, в котором соответственно учтена поправка на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб, разделенным на коэффициент, соответствующий числу опробованных двигателей.

4. Сертифицирующий полномочный орган выдает сертификат о соответствии нормам, если средние измеренные значения массовой эмиссии нЛТЧ и средние измеренные значения численной эмиссии нЛТЧ с поправками на термофоретические потери в коллекторном блоке системы отбора проб и на состав топлива для всех опробованных двигателей при переводе в характерный уровень с использованием соответствующего коэффициента, определенного, как указано в таблице А6-1,

числом опробованных двигателей (*i*), не превышает нормативного уровня.

Примечание. Как указано в таблице А6-1, характерный уровень массовой и численной эмиссии нЛГЧ является средним значением всех опробованных двигателей с соответствующей поправкой на термофоретические потери в коллекторном блок системы отбора проб и состава топлива, разделенным на коэффициент, соответствующий числу опробованных двигателей.

§ 3. Характерный уровень

5. Коэффициенты, необходимые для определения характерных уровней эмиссии двигателей, приводятся в таблице А6-1.

Таблица А6-1. Коэффициенты для определения характерных уровней

Количество опробованных двигателей (<i>i</i>)	CO	HC	NO _x	SN	Массовая концентрация нЛГЧ	Масса нЛГЧ при LTO	Число нЛГЧ при LTO
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9	0,719 4	0,719 4
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7	0,814 8	0,814 8
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1	0,885 8	0,885 8
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3	0,901 1	0,901 1
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6	0,911 6	0,911 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8	0,935 8	0,919 3	0,919 3
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5	0,925 2	0,925 2
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4	0,930 1	0,930 1
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6	0,934 1	0,934 1
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2	0,950 2	0,937 5	0,937 5
Более 10	$1 - \frac{0,130\ 59}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,247\ 24}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,096\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,197\ 78}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,197\ 78}{\sqrt{i}}$

§ 4. ПОРЯДОК ДЕЙСТВИЙ В СЛУЧАЕ НЕСООТВЕТСТВИЯ

Примечание. Если двигатель не проходит сертификационное испытание, это не обязательно означает, что данный тип двигателя не отвечает требованиям, а скорее то, что уровень достоверности, определенный сертифицирующему органу при установлении соответствия, недостаточно высок, т. е. менее чем 90 %. Поэтому изготовителю разрешается предоставлять дополнительные доказательства соответствия данного типа двигателей.

6. Если тип двигателя не проходит сертификационное испытание, то АГАТ разрешает изготовителю по его желанию провести дополнительные испытания для

сертификации двигателей. Если общие результаты по-прежнему показывают, что данный тип двигателя не отвечает сертификационным требованиям, то изготовителю разрешается провести испытания любого количества дополнительных двигателей. После этого итоговые данные испытаний сравниваются с ранее полученными данными.

7. Если результаты опять говорят о неудаче, то изготовителю разрешается выбрать один или большее количество двигателей с целью их модификации. После этого результаты проведенных испытаний выбранного(ых) двигателя(ей) до модификации анализируются, и дальнейшие испытания проводятся таким образом, чтобы их количество составляло по крайней мере три. Исходя из результатов этих испытаний определяется среднее значение для каждого двигателя, и оно считается "средним значением до модификации".

8. После этого двигатель(и) может (могут) быть модифицирован(ы) и затем проводится по крайней мере три испытания модифицированного(ых) двигателя(ей), и среднее значение результатов этих испытаний будет считаться в каждом случае "средним значением после модификации". Это "среднее значение после модификации" затем сравнивается со "средним значением до модификации" с целью установления соответствующего улучшения, которое затем учитывается в результатах предыдущих сертификационных испытаний с целью определения, достигнуто ли необходимое соответствие. До начала испытаний любого модифицированного двигателя определяется соответствие произведенных модификаций надлежащим требованиям летной годности.

9. Эта процедура повторяется до тех пор, пока данный двигатель не покажет надлежащее соответствие или пока не будет снята заявка на сертификацию этого типа двигателя.

ДОБАВЛЕНИЕ 7. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭМИССИИ НЕЛЕТУЧИХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

ГЛАВА I. ВВЕДЕНИЕ

Примечание. Приведенные в настоящем добавлении процедуры содержат рекомендации относительно получения представительных проб нелетучих твердых частиц (нлТЧ), присутствующих в выхлопных газах газотурбинных двигателей, а также их подачи в систему отбора проб и измерения нлТЧ и анализа в этой системе. Указанные процедуры не применяются к двигателям с форсажной камерой.

1. Любые процедуры, эквивалентные содержащимся в настоящем добавлении, разрешается применять только после их предварительного представления сертифицирующему органу и утверждения им.

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, АКРОНИМЫ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

2. **Определения.** В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

Аэродинамический диаметр частицы. Диаметр сферической частицы с относительной плотностью, равной плотности единицы, которая имеет такую же конечную скорость осаждения, как и искомая частица, также называемый "классический аэродинамический диаметр".

Время нарастания. Время, требуемое для изменения выходного сигнала с 10 до 90 % диапазона окончательного колебания выходного сигнала при резком введении эталонного материала в автоматизированную систему измерения, первоначально находящуюся в исходном состоянии. (Данный термин применяется только к онлайн-анализатору.).

Диаметр электрической подвижности частицы. Диаметр сферической частицы, имеющей точно такую же подвижность в электрическом поле, как и искомая частица.

Доля проникновения. Отношение концентрации частиц ниже по потоку и выше по потоку от элемента системы отбора проб.

Каталитический удалитель. Каталитическое устройство, которое удаляет путем

окисления летучие частицы вида.

Компетентная лаборатория. Испытательная и тарировочная лаборатория, которая разрабатывает, внедряет и применяет систему качества, отвечающую масштабам ее деятельности, в соответствии со стандартом ИСО/IEC 17025:2005 (время от времени изменяемым), и для которой предназначена и действует программа тарировки оборудования, с тем чтобы обеспечить отслеживаемость осуществляемых лабораторией измерений и тарировку до Международной системы единиц (СИ). Официальной аккредитации лаборатории по ИСО/IEC 17025:2005 не требуется.

Концентрация газа. Объемная доля представляющего интерес компонента в газовой смеси.

Массовая концентрация частиц. Масса частиц на единицу объема пробы.

Массовый индекс эмиссии частиц. Масса частиц, испускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

Нелетучие твердые частицы (нлТЧ). Испускаемые частицы, присутствующие в выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры 350 °С не испаряются.

Органический углерод (ОС). Углерод испаряемый в гелии при нагревании образца фильтра из кварцевых волокон до температуры 870 °С во время анализа анализа термооптического пропускания (ТОТ). Включает уголь, образующийся при пиролизе некоторых материалов.

Повторяемость. Точность, с которой измерение характеристик данного неизменяемого образца может быть воспроизведено при повторных измерениях через короткие интервалы времени без подстройки прибора.

Потеря частиц. Потеря частиц во время прохождения через систему отбора проб. Такая потеря имеет место из-за различных механизмов осаждения, некоторые из которых зависят от размеров.

Разрешающая способность. Наименьшее изменение результатов замера, которое может быть обнаружено.

Распределение частиц по размерам. Перечень значений математической функции, которая обозначает численную концентрацию частиц согласно их размерам.

Реакция прибора. Изменение выходного сигнала прибора в зависимости от изменения концентрации в пробе.

Система качества. Система управления, с помощью которой компетентная лаборатория документирует свою политику, системы, программы, процедуры и инструкции в той мере, в какой это необходимо для обеспечения качества испытаний и/или результатов тарировки.

Стабильность. Точность, с которой повторные измерения по данному неизменяемому образцу могут быть выдержаны в течение определенного промежутка времени.

Тарировочный газ. Эталонный газ, состав которого известен с высокой точностью, предназначенный для использования при регулировке, настройке и периодических проверках приборов.

Точность. Степень приближения измеренной величины к истинной величине, определенной независимо от этого измерения.

Циклонный сепаратор. Отделение частиц более крупного, чем установленный аэродинамический диаметр, размера за счет вращательного и гравитационного эффекта. Указанный граничный аэродинамический диаметр соотносится с процентом частиц конкретного размера, которые проникают через циклонный сепаратор.

Частей на миллион (ppm). Единица объемной концентрации газа на миллионную часть объема газовой смеси, в состав которой входит этот газ.

Численная концентрация частиц. Число частиц на единицу объема пробы.

Численный индекс эмиссии частиц. Число частиц, испускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

Элементарный углерод (ЕС). Светопоглощающий углерод, исключая уголь, который не удаляется из образца фильтра, нагреваемого до 870 °С в инертной атмосфере во время анализа термооптического пропускания (ТОТ).

3. Акронимы

МСА	Международная стандартная атмосфера (ИСО 2533:1975)
нлТЧ	Нелетучие твердые частицы (см. определение)
нлТЧ _{mi}	Прибор для измерения массы нелетучих твердых частиц
нлТЧ _{ni}	Прибор для измерения числа нелетучих твердых частиц
ПТФЭ	Политетрафторэтилен
ст. л/мин	Стандартные литры в минуту (литры в минуту при STP)
CPC	Конденсационный счетчик частиц
FS	Весь диапазон измерения анализатора
GL	Газовая линия
HEPA	Высокоэффективный воздушный фильтр класса H13, который удаляет по крайней мере 99,97 % частиц диоктилфталата (0,3 мкм в диаметре)
ID	Внутренний диаметр
LOD	Предел обнаружения
NMI	Национальный метрологический институт
STP	Состояние прибора при стандартной температуре 0 °C и давлении 101,325 кПа
TOT	Термооптическое пропускание
VPR	Уловитель летучих частиц
VRE	Эффективность удаления летучих частиц

4. Условные обозначения

[CO] средняя концентрация CO в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)

[CO₂] средняя концентрация CO₂ в неразбавленной выхлопной пробе

(объем/объем, во влажных условиях) [CO₂]_b концентрация CO₂ в

сухом воздухе по объему = 0,0003

[CO₂]_{dil1} средняя газовая концентрация CO₂ объем/объем после первой стадии разбавления, во влажных условиях

[CO₂]_{dil2} средняя газовая концентрация CO₂ объем/объем после второй стадии разбавления (во влажных условиях)

[CO₂]_s средняя газовая концентрация CO₂ объем/объем в отобранной неразбавленной выхлопной пробе (влажные, полусухие или сухие условия)

DF Коэффициент разбавления = (концентрация пробы до разбавления) / (концентрация пробы после разбавления)

DF₁

Объем неразбавленной пробы
Объем разбавленной пробы —

Коэффициент разбавления первой стадии = $\frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}$

DF_{1_s} Коэффициент разбавления первой стадии, рассчитанный с использованием непосредственно отобранных проб [CO₂]_s и [CO₂]_{dil1}

DF₂ Коэффициент разбавления второй стадии (VPR) согласно тарифовке

компетентной лабораторией D_m

Диаметр

электрической подвижности нЛТЧ, мкм

D_{xy} , при z нм Аэродинамический диаметр, при котором обнаружены $x\%$ (эффективность обнаружения) частиц размером z

EI_{mass} Массовый индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери и состав топлива, миллиграмм/кг топлива

EI_{num} Численный индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери и состав топлива, в число/кг топлива

F Тяга для данного эксплуатационного режима

H Содержание водорода в топливе (в % к массе)

$[HC]$ Средняя концентрация углеводородов в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях), выраженных как углерод

$\square_{VPR}(D_m)$ Доля проникновения частиц через VPR для частиц D_m

k_{fuel_M} Поправочный коэффициент на состав топлива для массового индекса эмиссии нЛТЧ

k_{fuel_N} Поправочный коэффициент на состав топлива для численного индекса эмиссии нЛТЧ

k_{thermo} Поправочный коэффициент на термофоретические потери коллекторного блока

$[NO]$ Средняя концентрация NO в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)

$[NO_2]$ Средняя концентрация NO_2 в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях)

$[\text{NO}_x]_{\text{влажных условиях}}$	Средняя концентрация NO и NO ₂ в выхлопной пробе (объем/объем, во влажных условиях) = $[\text{NO}] + [\text{NO}_2]$
M_C	Масса атома углерода = 12,011
M_H	Масса атома водорода = 1,008
m	Количество атомов C в характеристической молекуле топлива
n	Количество атомов H в характеристической молекуле топлива
$\text{нЛТЧ}_{\text{mass}}$	Массовая концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP с поправкой на разбавление и термофоретические потери в коллекторной секции системы отбора проб, мкг/м ³
$\text{нЛТЧ}_{\text{mass_STP}}$	Разбавленная массовая концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP, мкг/м ³
$\text{нЛТЧ}_{\text{num_STP}}$	Разбавленная численная концентрация нЛТЧ при состоянии прибора STP, число/см ³
T_{line}	Температура стенки линии отбора проб
T_1	Температура стенки на входе разбавителя, °C
T_{EGT}	Замеренная на двигателе или полученная на основании характеристик температура газа в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, °C
t_{90}	90%-ное время срабатывания (время между изменением концентрации на входе и показанием детектора на уровне 90 % от его конечного сигнала)
α	Отношение атома водорода к атому углерода в топливе = n/m , где C_mH_n – эквивалентное углеводородное представление топлива, используемого в испытании и определяемого на основе анализа типа топлива двигателя.

§ 2. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

6. Эмиссия нЛТЧ. Для расчета массовой и численной эмиссии нЛТЧ определяются следующие концентрации:

- 1) масса нЛТЧ: $\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$
- 2) число нЛТЧ: $\text{nvPM}_{\text{num_STP}}$
- 3) двуокись углерода (CO_2): $[\text{CO}_2]$ и $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$
- 4) окись углерода (CO): $[\text{CO}]$
- 5) углеводороды (HC): $[\text{HC}]$
- 6) окислы азота (NO_x): $[\text{NO}_x]$, $[\text{NO}]$, $[\text{NO}_2]$

Примечание. Инструктивный материал в отношении требуемых данных приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

7. В целях проверки исправности системы определяется концентрация следующей эмиссии:

двуокись углерода (CO_2): $[\text{CO}_2]_s$.

8. Прочая информация. Для нормализации данных измерений характеристик эмиссии и для определения испытываемых характеристик двигателя в дополнении F к добавлению 3 и в дополнении D к настоящему добавлению приводится дополнительная информация.

§ 3. ОБЩАЯ КОМПОНОВКА СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И ИЗМЕРЕНИЯ нлТЧ

9. Система отбора проб и измерения нлТЧ. Система отбора проб и измерения нлТЧ состоит из трех блоков, подразделенных на пять секций:

- 1) коллекторный блок (секция 1),
- 2) передаточный блок (секции 2, 3 и 4),
- 3) измерительный блок (секция 5).

Примечание 1. Общий вид системы отбора проб и измерения нлТЧ показан на рис. А7-1, а описание содержится в таблице А7-1.

Примечание 2. Более подробные требования и рекомендации в отношении каждой секции системы приведены в дополнениях А, В, С и Е к настоящему добавлению.

10. Секции 1–4 отвечают следующим требованиям:

- 1) Линии отбора проб имеют по возможности максимально прямоточную схему.
- 2) Общая длина линии отбора проб от кончика насадки пробоотборника до входной насадки измерительного прибора не превышает 35 м. Эта общая длина не равна сумме значений максимально допустимой длины отдельных секций отбора проб. Подробные требования к длине приведены в дополнении А к настоящему добавлению и показаны на рис. А7-1.

11. Рекомендация. Для секций 1–4 рекомендуется следующее:

- 1) Число фитингов должно быть минимальным, и они должны быть изготовлены из нержавеющей стали с гладким каналом.
- 2) Число переходных штуцерных фитингов должно быть минимальным, и они должны быть теплоизолированы для сведения к минимуму температурных градиентов.

Примечание. Инструктивный материал содержится в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Дос 9501).

12. Секции 2–4 отвечают следующим требованиям:

- 1) Любые требуемые изгибы линии отбора проб имеют радиусы, превышающие десятикратный внутренний диаметр линии.
- 2) Обращенные к потоку ступенчатые плечевые соединения не превышают 15 % от внутреннего диаметра.
- 3) Изменения во внутреннем диаметре линии отбора проб, превышающие 15 %, имеют место только в месте стыка разделителя с газовым потоком.
- 4) Различия во внутреннем диаметре меньше чем или равные 15 % не считаются изменением.

13. Рекомендация. Для секций 2–4 линию отбора проб следует интенсивно подогревать по всему фитингу. Если это практически невозможно, линию отбора проб следует подогревать как можно ближе к следующему подогреваемому элементу и термоизолировать по всему фитингу.

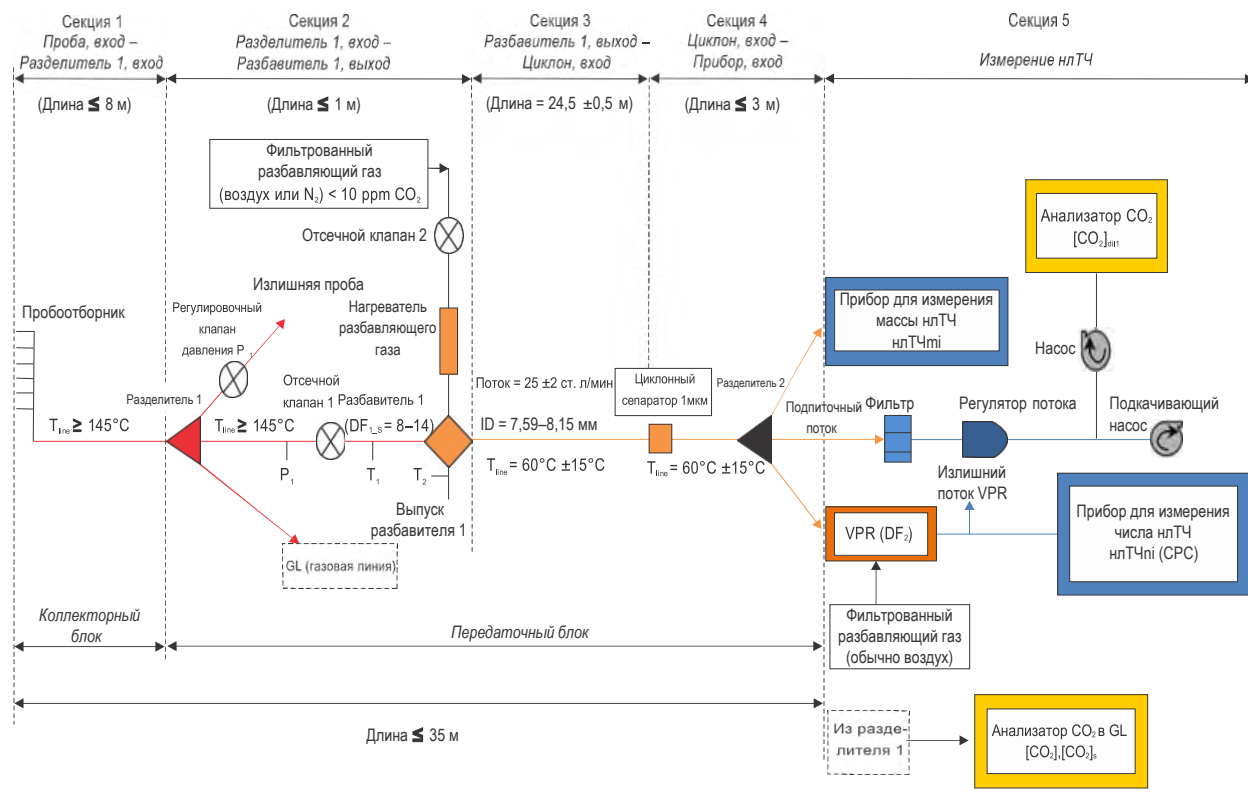


Рис. А7-1. Общая схема системы отбора проб и измерения нЛТЧ

§ 4. Коллекторный блок

14. Секция 1 состоит из оборудования пробоотборника/гребенки и линии подсоединения. Она отвечает следующим требованиям:

- 1) В качестве материала пробоотборника применяется нержавеющая сталь или любой другой химически инертный термостойкий материал.
- 2) Если используется пробоотборник с несколькими отверстиями для отбора проб, то:
 - а) все отверстия для отбора проб имеют равный диаметр;
 - б) пробоотборник конструируется таким образом, чтобы по крайней мере 80 % падения давления, проходящего через него потока, приходилось на отверстия

- 3) Число точек для отбора проб составляет не менее 12.
- 4) Плоскость отбора проб располагается настолько близко к выходной плоскости выхлопного сопла двигателя, насколько это позволяют характеристики двигателя, однако в любом случае она находится на удалении от выходной плоскости в пределах 0,5 диаметра сопла.
- 5) Подающий заявку представляет АГАТ, с помощью подробных эюр распределения концентрации, доказательство того, что предлагаемые им конструкция и местоположение пробоотборника действительно обеспечат получение представительных проб для каждой из установленных величин тяги.

§ 5. Передаточный блок

15. На входе в секцию 2 узел разделителя 1 разделяет пробу, направляя ее в линию передаточного блока, GL для измерения неразбавленных CO₂, CO, HC и NO_x и в линию излишнего потока проб.

Примечание. Такая компоновка также позволяет при необходимости использовать GL для измерения числа дымности, как указано в добавлении 2.

16. Линия передаточного блока устроена таким образом, чтобы проба нлТЧ:

- 1) проходила через разбавитель 1 (разбавитель эжекторного типа), который всасывает, разбавляет и охлаждает пробу;
- 2) проходила через секцию 3;
- 3) проходила через циклонный сепаратор и разделитель 2 в секции 4 до входа в измерительный блок в секции 5.

§ 6. Измерительный блок

17. Измерение массы нлТЧ. НлТЧ_{mi} отвечает требованиям в дополнении В к настоящему добавлению.

18. На каждую конструкцию и модель нлТЧ_{mi} изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что данная конструкция и модель нлТЧ_{mi} отвечают требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3 дополнения В к настоящему добавлению.

19. Измерение числа нлТЧ. Численная концентрация нлТЧ определяется с использованием системы, состоящей из соединенных последовательно уловителя летучих частиц (VPR) и конденсационного счетчика частиц (CPC) (нлТЧ_{ni}). VPR включает систему разбавления (DF₂) и устройство для улавливания летучих видов.

20. На каждую конструкцию и модель VPR и CPC изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что данная конструкция и модель каждого устройства отвечают техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в дополнении С к

настоящему добавлению.

21. Канал подпитки потока

- 1) Для поддержания постоянной скорости потока проб через секцию 3 и для обеспечения измерения концентрации CO_2 в разбавленной пробе используется канал подпитки потока.
- 2) 0 Канал подпитки потока содержит насос, регулятор потока и анализатор CO_2 .
- 3) **Рекомендация.** *Во избежание повреждения компонентов выше по потоку от регулятора потока следует установить фракционный фильтр.*

Таблица А7-1. Терминология, используемая в системе отбора проб и измерения нЛТЧ

<i>Терминология</i>		<i>Описание</i>
Узел пробоотборника		Одноточечное или многоточечное оборудование гребенки, используемое для получения представительных проб выхлопных газов авиационного двигателя.
Линия подсоединения		Длина трубопровода для транспортировки пробы от пробоотборника до входа разделителя 1.
Разделитель 1		Узел разделителя потока, позволяющий контролируемое разделение потока проб в систему отбора проб частиц и в систему отбора проб газа. Также обеспечивает поток (излишних проб) для сброса и регулирования давления в линии отбора проб.
Регулировочный клапан давления P_1		Клапан, используемый для регулирования давления на входе разбавителя 1.
P_1		Давление на входе разбавителя 1, регулируемое регулировочным клапаном давления, когда P_1 выше внешнего давления.
T_1		Температура трубки отбора проб на входе разбавителя 1, необходимая для расчета поправок на термофоретические потери частиц в секциях 1 и 2.
Отсечной клапан 1		Позволяет изолировать систему потока частиц от пробы GL и осуществлять проверки GL (включая пробоотборник) на утечку и проверку на чистоту передаточного блока.
Отсечной клапан 2		Запорный клапан разбавляющего газа для разбавителя 1.
Разбавитель 1		Разбавитель эжекторного типа, обеспечивающий близкое к внешнему давление на входе в секцию 3. Разбавляет пробу нЛТЧ в начальной части передаточного блока (разбавление первой стадии, DF ₁) для сведения к минимуму коагуляции и понижает температуру пробы в целях минимизации термофоретических потерь.
Фильтрованный разбавляющий газ		Сжатый газ (азот или воздух) для разбавителя 1.
Нагреватель разбавляющего газа		Нагревает разбавляющий газ до его входа в разбавитель 1. Температура нагревателя регулируется температурой (T_2) выпускного потока разбавителя 1.
Выпускной клапан разбавителя 1		Позволяет выпуск излишней разбавленной пробы в атмосферу для поддержания близкого к внешнему давления на выходе разбавителя 1 и недопущения избыточного давления в передаточном блоке.
T_2		Температура выпускного потока для регулирования температуры на выходе разбавителя 1.
GL		Газовая линия. Нагреваемая секция для транспортировки выхлопной пробы в целях измерения газообразной эмиссии.
Секция 3	Нагреваемая линия отбора проб	Стандартизированная секция отбора проб. Позволяет производить измерения на безопасном расстоянии от двигателя.
Циклонный сепаратор (1 мкм)		Удаляет большие частицы, которые не являются продуктом сгорания и помогает предотвратить закупорку приборов.

Секция 4	Разделитель 2	Узел разделителя потока, обеспечивающий потоки проб для измерения массовой и численной концентрации нлГЧ, а также третий поток для обеспечения постоянной скорости потока общей системы в секции 3.
	Фильтр	Фракционный фильтр, предотвращающий закупорку и повреждение регулятора потока.
	Регулятор потока	Поддерживает постоянную скорость потока в секции 3 за счет регулирования подпиточного потока.
	Подкачивающий насос	Обеспечивает всасывание для подпиточного потока.
	Анализатор CO ₂	Измерение [CO ₂] _{dil1} в разбавленной пробе.
	нлГЧ _{mi}	Прибор для измерения массы нлГЧ
	VPR (DF ₂)	Устройство, которое улавливает летучие виды и еще более растворяет пробу (вторая стадия растворения, DF ₂) до нлГЧ _{ni} .
	Фильтрованный разбавляющий газ	Разбавляющий газ (азот или воздух) для VPR.
	нлГЧ _{ni} (CPC)	Прибор для измерения числа нлГЧ, являющийся конденсационным счетчиком частиц.

ГЛАВА II. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

§7. Тарировка и обслуживание.

22. Все приборы обслуживаются согласно рекомендациям изготовителя.

23. Система отбора проб и измерения нлГЧ. Тарировка и обслуживание системы отборы проб и измерения нлГЧ осуществляется, как указано ниже, не менее одного раза в год или согласно рекомендациям изготовителя:

- 1) Опорожняется и промывается коллекторный резервуар циклонного сепаратора.
- 2) Прочищается отверстие штуцера разбавителя 1.
- 3) Регулятор подпитки потока и входные скорости потока для нлГЧ_{mi}, нлГЧ_{ni} и VPR тарируются с помощью расходомера, отслеживаемого до NMI.
- 4) **Рекомендация.** Все тарированные скорости потока должны находиться в пределах 5 % всего диапазона измерения (FS).
- 5) Датчики давления тарируются с помощью отслеживаемого до NMI датчика давления.
- 6) **Рекомендация.** Все тарированные измерения давления должны находиться в пределах 2 % FS.

24. нлТЧmі

- 1) нлТЧmі ежегодно тарируется компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал тарировочным требованиям, указанным в дополнении В к настоящему добавлению.
- 2) нлТЧmі демонстрирует соответствие требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3 дополнения В к настоящему добавлению, после внесения каких-либо изменений в аппаратуру или программное обеспечение нлТЧmі, которые влияют на получение и обработку данных.

25. VPR

- 1) VPR ежегодно тарируются компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал требованиям, указанным в дополнении С к настоящему добавлению.
- 2) Если VPR содержит каталитический удалитель, периодичность его замены отвечает рекомендациям изготовителя.

26. нлТЧnі (CPC)

- 1) нлТЧnі ежегодно тарируются компетентной лабораторией, с тем чтобы он отвечал требованиям к тарировке, указанным в дополнении С к настоящему добавлению.
- 2) Рабочей жидкостью нлТЧnі является н-бутанол, которая заменяется согласно рекомендациям изготовителя.
- 3) нлТЧnі демонстрирует соответствие техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в дополнении С к настоящему добавлению, после внесения каких-либо изменений в аппаратуру или программное обеспечение нлТЧnі, которые влияют на получение и обработку данных.

27. Газоанализаторы

- 1) Тарировка анализаторов CO₂, CO, HC и NO_x осуществляется согласно процедурам в добавлении 3.
- 2) Примесь CO₂ в нулевом тарировочном газе для анализатора CO₂ ниже по потоку от разбавителя 1 составляет менее 10 ppm.

Примечание. Требование в отношении примеси CO₂ для анализатора CO₂ ниже по потоку от разбавителя 1 отличается от дополнения D к добавлению 3.

- 3) **Рекомендация.** Разбавляющий газ для разбавителя 1 должен быть таким же, как нулевой тарировочный газ, применяемый для анализатора CO₂.

28. Работа двигателя. Двигатель работает на стационарном испытательном стенде, который подходит и должным образом оборудован для проведения высокоточных испытаний характеристик.

29. Испытания для измерения эмиссии нЛТЧ проводятся на режимах тяги, указанных сертифицирующим органом. На каждом режиме обеспечивается стабильная работа двигателя.

30. Баланс углерода. Каждое испытание включает проверку отношения воздух/топливо, рассчитанного по объединенному образцу общей концентрации углерода, за исключением концентрации дыма, которая должна совпадать с точностью до $\pm 15\%$ с данными расчета отношения воздух/топливо для режима руления/земного малого газа и с точностью $\pm 10\%$ для всех остальных режимов работы двигателя.

Примечание. Инструктивный материал по использованию эквивалентной методики приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

§ 8. Работа системы отбора проб и измерения нЛТЧ

31. До проведения серии испытаний двигателя обеспечивается соблюдение следующих требований:

- 1) Осуществляются проверки на утечку и чистоту коллекторного блока с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.
- 2) Производится проверка коэффициента разбавления VPR (DF₂) согласно дополнению Е.

32. Для измерения газообразных веществ в GL и ниже по потоку от разбавителя 1 используется следующая методика:

- 1) С помощью соответствующего нулевого газа произвести все необходимые виды настройки приборов.

- 2) Вести тарировочный газ, концентрация которого соответствует номинальной 90%-ной величине концентрации FS для всех подлежащих использованию диапазонов измерения, и соответствующим образом установить и записать значения коэффициента усиления.

33. В ходе серии испытаний двигателя соблюдаются следующие требования:

- 1) Измерения нлТЧ производятся только после прогрева и стабилизации всех приборов и линий отбора проб.
- 2) Если какой-либо компонент или секция системы отбора проб нлТЧ являются новыми, прошедшими очистку после последнего использования или ранее использовались в целях, не относящихся к отбору проб выхлопных газов двигателя, то система отбора проб нлТЧ отбирает пробы выхлопных газов авиационного двигателя как минимум в течение 30 мин при любом значении тяги двигателя, прежде чем будут произведены измерения нлТЧ.

Примечание. Удаление сажи, заблокировавшей отверстие разбавителя 1, не является процессом очистки, как указано в b).

- 3) Производятся проверки на исправность, рекомендованные изготовителем нлТЧni.
- 4) Для измерений числа нлТЧ соблюдаются следующие требования:
 - a) Нагретое состояние VPR составляет $350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - б) Если в VPR используется каталитический удалитель, разбавляющий газ содержит по крайней мере 10 % O₂.
 - в) Рабочая жидкость нлТЧni находится на требуемом изготовителем уровне.
 - г) Сатуратор и конденсор нлТЧni достигли нужных рабочих температур.
- 5) Производятся проверки на исправность, рекомендованные изготовителем нлТЧni.
- 6) В начале и в конце испытания двигателя производится проверка на

чистоту передаточного блока с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.

Примечание. Проверка на чистоту передаточного блока также служит в качестве рабочей проверки установки на нуль приборов измерения нЛТЧ.

- 7) В начале и в конце испытания двигателя производится измерение нЛТЧ в окружающей среде с использованием методики, описанной в дополнении Е к настоящему добавлению.

Примечание. Измерение окружающей среды также служит в качестве рабочей проверки реакции прибора нЛТЧп.

- 8) В конце испытания, а также минимум каждый час в ходе испытаний повторно проверяются тарировочная точка и точка нуля газоанализатора. Если любая из них изменилась более чем на $\pm 2\%$ диапазона FS, испытание повторяется после восстановления состояния прибора в пределах его спецификации.

34. Рекомендация. *Следует производить обратную продувку во время запуска и выключения двигателя.*

35. Во время измерений нЛТЧ двигателя соблюдаются следующие требования:

- 1) Если уровень P_1 ниже атмосферного давления, регулировочный клапан давления P_1 закрывается; и дополнительный запорно-выпускной клапан, если таковой установлен, закрывается.
- 2) Как концентрация CO_2 в GL, так и концентрация CO_2 ниже по потоку от разбавителя 1 $[CO_2]_{dil1}$, постоянно замеряются и используются для валидации и регулирования DF_1 в реальном времени (DF_{1_S}) в пределах диапазона 8–14. DF_{1_S} определяется как:

$$DF_{1_S} = \frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dil1}}.$$

Примечание. Расчет DF_{1_S} не требует концентрации CO_2 во влажных

условиях.

- 3) Расход потока пробы, составляющий 25 ст. л/мин $\pm$ 2 ст. л/мин в секции 3, отслеживается путем суммирования величин расхода газов в подпиточном и входном потоках нлТЧ_{mi} и VPR.
- 4) Когда работа двигателя и замеренная концентрация нлТЧ и [CO₂]_{dil1} стабилизируются на требуемом режиме тяги, усредняются и регистрируются как минимум 30-секундные данные.
- 5) Если нлТЧ_{mi} не производит измерение давления пробы, давление измеряется в точке между выходом разделителя 2 и входом подпиточного потока и регистрируется.
- 6) Если нлТЧ_{ni} не производит измерение давления пробы, давление измеряется в точке между выходом VPR и входом нлТЧ_{ni} и регистрируется.

ГЛАВА III. РАСЧЕТЫ

§ 9. Уравнения массовой концентрации нлТЧ и массовых и численных индексов эмиссии нлТЧ

36. Данная методика используется для расчета массовой концентрации нлТЧ и массовых и численных индексов эмиссии (EI) нлТЧ авиационных газотурбинных двигателей, в которых в воздухе сжигается углеводородное топливо. Во всех уравнениях используются массовая концентрация нлТЧ и численная концентрация нлТЧ при работе приборов в условиях STP. Если это не так, пользователь следует рекомендуемой методике изготовителя прибора для приведения зарегистрированных концентраций к условиям STP прибора.

37. Массовая концентрация нлТЧ. Массовая концентрация нлТЧ (нлТЧ_{mass}) представляет собой массу частиц на единицу объема пробы выхлопных газов двигателя с поправками на коэффициент первой стадии разбавления (DF₁) и термофоретические потери частиц в коллекторном блоке. Она рассчитывается с использованием следующего уравнения:

$$nvPM_{mass} = DF1 \times nvPM_{mass_STP} \times k_{thermo}.$$

38. Массовые и численные индексы эмиссии нлТЧ (EI_{mass} и EI_{num}) представляют собой массу (в миллиграммах) и число частиц в выхлопных газах двигателя на массу сгораемого топлива (в килограммах) с поправкой на их соответствующие коэффициенты разбавления, термофоретические потери частиц в коллекторном блоке и их соответствующие поправочные коэффициенты на состав топлива. Они рассчитываются с использованием следующих уравнений:

$$EI_{\text{mass}} = \frac{22,4 \times \text{nvPM}_{\text{mass_STP}} \times 10^{-3}}{\left([CO_2]_{\text{dil}_1} + \frac{1}{DF_1}([CO] - [CO_2]_b + [HC])\right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{\text{thermo}} \times k_{\text{fuel_M}}$$

$$EI_{\text{num}} = \frac{22,4 \times DF_2 \times \text{nvPM}_{\text{num_STP}} \times 10^6}{\left([CO_2]_{\text{dil}_1} + \frac{1}{DF_1}([CO] - [CO_2]_b + [HC])\right) (M_C + \alpha M_H)} \times k_{\text{thermo}} \times k_{\text{fuel_N}}$$

$[CO_2]$, $[CO]$ и $[HC]$ рассчитываются, как показано в дополнении Е к добавлению 3.

Примечание 1. Постоянная 22,4, используемая в уравнениях EI выше, является объемом одного моля воздуха в литрах при условиях STP, округленная до одного десятичного разряда.

Примечание 2. Инструктивный материал по использованию эквивалентной методики приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

§ 10. Поправочные коэффициенты для эмиссии нлТЧ

39. Поправка на термофоретические потери нлТЧ в коллекторном блоке. Поправка на термофоретические потери нлТЧ в коллекторном блоке определяется следующим образом:

$$k_{\text{thermo}} = \left(\frac{T_1 + 273,15}{T_{\text{EGT}} + 273,15} \right)^{-0,38},$$

если $T_{\text{EGT}} < T_1$, тогда $k_{\text{thermo}} = 1$.

Примечание. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

40. Поправка на состав топлива. Поправка на

состав топлива определяется следующим образом:

$$k_{\text{fuel_M}} = \exp \left\{ \left(1,08 \frac{F}{F_{00}} - 1,31 \right) (13,8 - H) \right\}$$

$$k_{\text{fuel_N}} = \exp \left\{ \left(0,99 \frac{F}{F_{00}} - 1,05 \right) (13,8 - H) \right\}.$$

§ 11. Величины, входящие в контрольный параметр.

ЕІ нормализуется по отношению к температуре на входе в камеру сгорания исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря.

41. Определения. Исходный стандартный двигатель. Двигатель, в значительной степени соответствующий конфигурации серийного образца данного типа двигателя и обладающий всеми типичными эксплуатационными и техническими характеристиками.

F_{00} Расчетная тяга (см. определения, глава I, часть I).

F_n Тяга на эксплуатационном режиме n для регистрируемой эмиссии нлТЧ (кН).

W_f Массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря (кг/с).

W_{fn} Массовый расход топлива исходного стандартного двигателя в условиях МСА на уровне моря на эксплуатационном режиме n цикла LTO.

T_B Температура на входе в камеру сгорания.

42. Массовые и численные индексы (ЕІ) эмиссии нлТЧ получают для каждого эксплуатационного режима цикла LTO при T_B исходного стандартного двигателя. Для определения режима малого газа требуется проводить испытания по крайней мере в трех точках. Для массовых и численных ЕІ нлТЧ в стандартных условиях МСА определяются следующие зависимости:

1) между ЕІ и T_B ;

2) между W_f и T_B ;

3) между F_n и T_B .

Примечание 1. Для примера эти зависимости приводятся на рис. А7-2 1), 2) и 3).

Примечание 2. Зависимости 2) и 3) могут быть определены непосредственно на основе данных испытаний двигателя или могут быть получены с помощью апробированной модели характеристик двигателя.

§ 12. Методика расчета

43. Оценка массовых и численных ЕІ (приведенных к T_B) нлТЧ на регистрируемых

эксплуатационных режимах проводится согласно следующей общей методике:

- 1) определить температуру на входе в камеру сгорания (T_B) (рис. А7-2 с)) при значениях F_n , соответствующих регистрируемым эксплуатационным режимам, n , в стандартных атмосферных условиях;
- 2) на основании характеристик EI/T_B (рис. А7-2 а)) определить величину EIn , соответствующую T_B ;
- 3) на основании характеристики Wf/T_B (рис. А7-2 б)) определить величину Wfn , соответствующую T_B ;

Примечание. Несмотря на то что описанная выше методика является рекомендуемым методом, сертифицирующий орган может одобрить равноценную математическую методику, в которой используются математические выражения, задающие изображенные кривые, если такое выражение получено с использованием принятого метода аппроксимации кривых.

§ 13. Исключение из предлагаемой методики

Примечание. В тех случаях, когда конфигурация двигателя или наличие других объективных условий не позволяют использовать данную методику, АГАТ по получении достаточных технических доказательств, свидетельствующих об эквивалентных результатах, достигнутых с помощью альтернативной методики, может утвердить такую альтернативную методику.

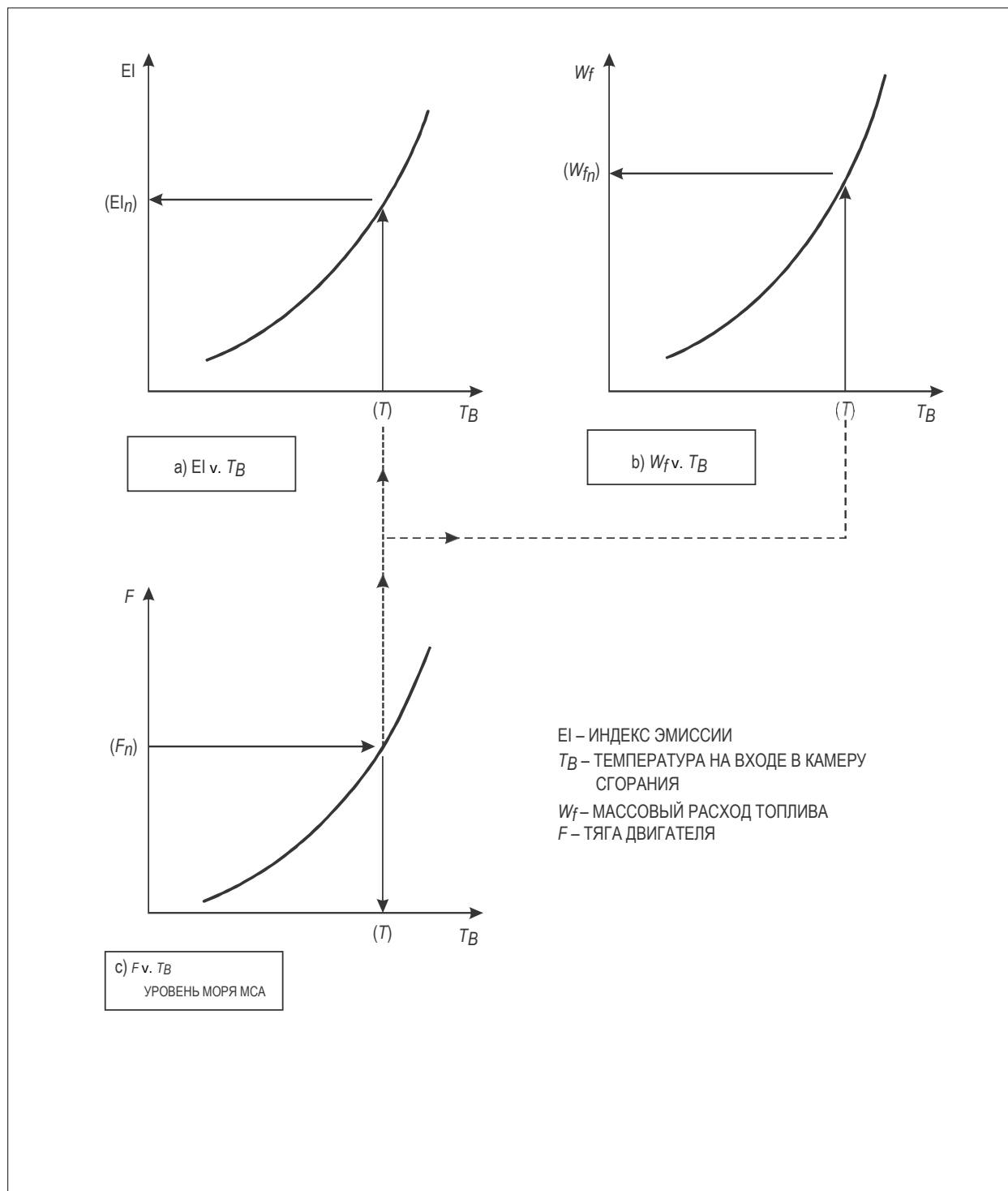


Рис. А7-2. EI нлТЧ газотурбинного двигателя как функция нескольких параметров двигателя

ДОПОЛНЕНИЕ А К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ, КАСАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ _{нлТЧ}

РАЗДЕЛ I. СЕКЦИЯ 1.

§ 1. ВХОД ПРОБООТБОРНИКА – ВХОД РАЗДЕЛИТЕЛЯ 1

1. Секция 1 отвечает следующим требованиям:

- 1) Проба подается от пробоотборника в секцию 2 по линии с внутренним диаметром 4,0– 8,5 мм по возможно кратчайшему маршруту.
- 2) Линия отбора проб поддерживается на температуре выше или равной 145 °С.
- 3) Длина от входа пробоотборника до входа разделителя 1 меньше чем или равна 8 м.

РАЗДЕЛ II. СЕКЦИЯ 2.

§ 2. ВХОД РАЗДЕЛИТЕЛЯ 1 – ВЫХОД РАЗБАВИТЕЛЯ 1

2. Раздел 2 отвечает следующим требованиям:

- 1) Секция 2 содержит разделитель 1 и разбавитель 1.
- 2) Материал линии отбора проб является таким, чтобы минимизировать отложение твердых частиц или статическое электричество.

Примечание. Этим требованиям отвечают нержавеющая сталь или заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.

- 3) Длина секции 2 от входа разделителя 1 до выхода разбавителя 1 не превышает 1 м.
- 4) Секция 2 содержит отсечной клапан 1 для проверки на утечку в GL.

3. Разделитель 1 отвечает следующим требованиям:

- 1) Разделитель 1 изготавливается из нержавеющей стали.
- 2) Температура корпуса разделителя 1 поддерживается на уровне, превышающем

или равном 145 °С.

- 3) Разделитель 1 разделяет выхлопную пробу двигателя на три потока.
- 4) Углы разделения по отношению к входящему потоку являются, насколько это практически возможно, максимально острыми, но не превышающими 35°.
- 5) Поток проб нЛТЧ следует по прямоточной и кратчайшей схеме, насколько это практически возможно.
- 6) Внутренняя геометрия разделителя 1 отвечает следующим требованиям:
 - а) Никаких обращенных к потоку ступенчатых плечевых соединений на внутренней стенке.
 - б) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 1 до входа разбавителя
 - в) Внутренний диаметр $GL = 4-8,5$ мм.
 - г) Внутренняя площадь поперечного сечения линии отбора излишних проб больше или равна общей входной площади кончиков пробоотборника.

4. Отсечной клапан 1 отвечает следующим требованиям:

- 1) Отсечной клапан 1 размещается между выходом разделителя 1 и входом разбавителя 1.
- 2) Отсечной клапан 1 является полнопроходным без обращенных к потоку ступенчатых печевых соединений, больших чем 15 % от внутреннего диаметра.
- 3) Седла отсечного клапана 1 являются сухими и термостойкими до 175 °С.

5. Температура (T1) стенок линии отбора проб нЛТЧ в секции 2 (в пределах 5 см от плоскости смешивания разбавителя 1) поддерживается на уровне, превышающем или равном 145 °С, как указано на рис. А7-3.

6. Разбавитель 1 отвечает следующим требованиям:

- 1) Разбавитель 1 является разбавителем эжекторного типа.
- 2) Внутренний диаметр входа разбавителя 1 превышает или равен 7,59 мм.
- 3) Разбавляющий поток регулируется согласно спецификациям изготовителя.

- 4) Коэффициент разбавления разбавителя 1 в реальном времени регулируется в диапазоне от 8 до 14.

Примечание 1. Минимальный коэффициент разбавления требуется для сведения к минимуму коагуляции нЛТЧ, а максимальный коэффициент необходим для поддержания разбавленной пробы в диапазоне измерения приборов.

Примечание 2. DF_1 может корректироваться путем регулирования P_1 с помощью регулировочного клапана давления в потоке излишних проб или путем регулирования, разбавляющего газопотока.

- 5) Выпускной клапан разбавителя 1 открыт для внешнего давления (равного давлению на входе в двигатель).
- 6) Корпус разбавителя 1 нагревается до $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, как показано на рис. А7-3.
- 7) В качестве разбавляющего газа используется азот или воздух, фильтруемый через НЕРА и содержащий менее 10 ppm CO_2 .
- 8) Разбавляющий газ нагревается до температуры разбавленной пробы нЛТЧ, равной $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ на выпускном отверстии разбавителя 1 (T_2).
- 9) Проникновение частиц через разбавитель 1 отвечает минимальным требованиям, указанным в таблице А7-2.

Таблица А7-2. Минимальные требования в отношении доли проникновения частиц (эффективность передачи) разбавителя 1

Размер подвижности частиц (диаметр)	15 нм	30 нм	50 нм	100 нм
Минимальная доля проникновения частиц	80 %	90 %	90 %	90

7. Рекомендация. Для минимизации воздействия на рабочий диапазон DF_1 падение давления в выпускной линии разбавителя 1 следует, насколько это практически возможно, сводить к минимуму.

8. Рекомендация. Следует предусмотреть меры безопасности для предотвращения перегрева нагревателя разбавляющего газа при отсутствии подачи потока разбавляющего газа.

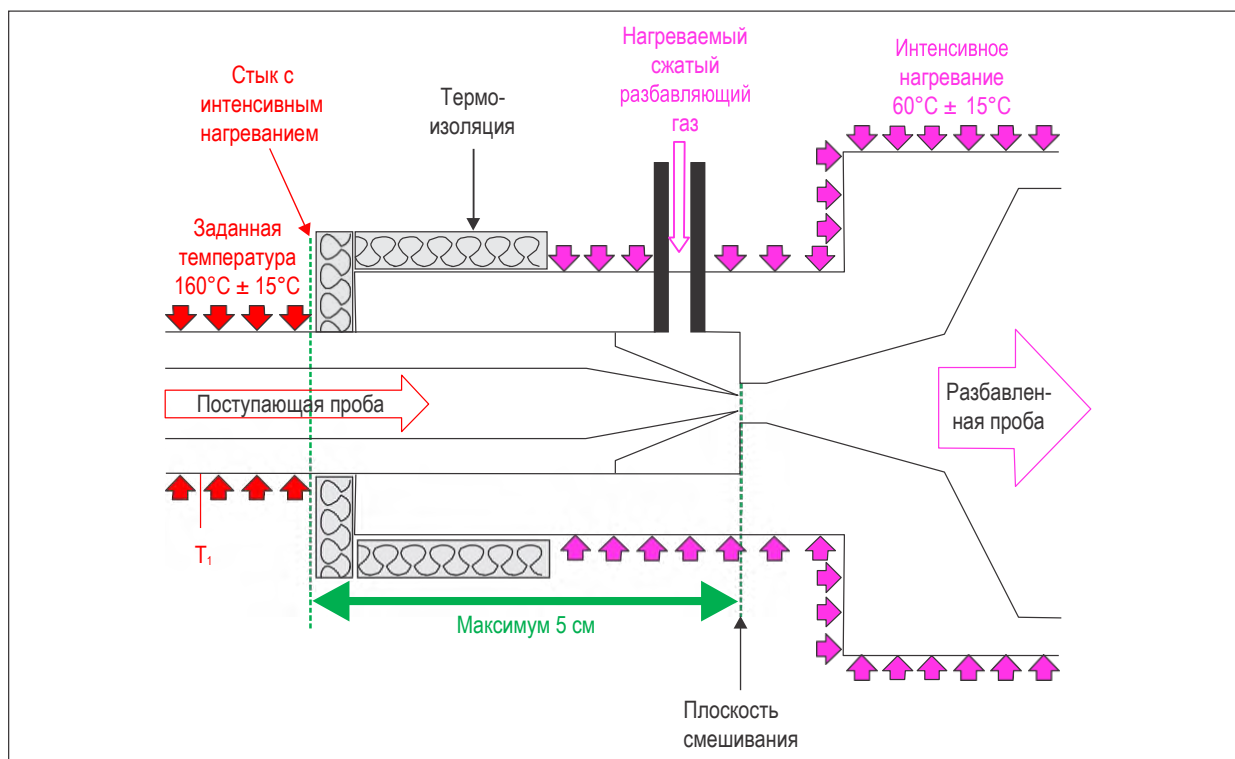


Рис. А7-3. Поперечное сечение входа типового разбавителя 1 эжекторного типа с нагревающим стыком

§ 3. Газовая линия

9. GL и анализаторы газообразной эмиссии отвечают техническим требованиям в добавлении 3 и дополнениях к добавлению 3.

Примечание. Коллекторный блок (секция 1) системы отбора проб и измерения нлТЧ отвечает техническим требованиям в добавлении 3.

10. Для определения EI нлТЧ измерения CO, HC и газовых концентраций NOx в GL производятся одновременно.

Примечание. Инструктивный материал приведен в в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

11. Для определения DF_{1,5} измерения концентрации CO₂ в GL (в сухих, полусухих или влажных условиях) производится одновременно с измерениями нлТЧ.

§ 4. Линия отбора излишнего потока

12. Давление линии отбора проб на входе разбавителя (P_1) поддерживается близким к давлению местного окружающего воздуха с помощью подходящего регулировочного клапана давления с достаточной внутренней площадью. В полностью закрытом положении клапан способен поддерживать вакуумметрическое давление -75 кПа по отношению к давлению окружающей среды.

13. Рекомендация. Для предотвращения утечки внутри разделителя 1 при давлении меньше атмосферного ниже по потоку от регулировочного клапана давления следует установить дополнительный запорно-выпускной клапан с достаточной внутренней площадью во избежание избыточного давления в системе.

РАЗДЕЛ III. СЕКЦИЯ 3.

§ 5. ВЫХОД РАЗБАВИТЕЛЯ 1 – ВХОД ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА

14. Линия отбора проб отвечает следующим требованиям:

- 1) Материалом линии отбора проб является заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.
- 2) **Рекомендация.** Линия отбора проб должна отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.
- 3) Внутренний диаметр линии отбора проб составляет от 7,59 до 8,15 мм.

Примечание. С учетом допусков изготовителя техническое требование к внутреннему диаметру линии отбора проб соответствует имеющимся в продаже линиям с размерами внешнего диаметра 3/8 дюйма и 7/16 дюйма с толщиной стенки в обоих случаях 0,035; а также 10 мм с толщиной стенки 1 мм.

- 4) Линия имеет длину 24,5 м $\pm$ 0,5 м без излишних фитингов и состоит максимум из трех отрезков.
- 5) Радиусы изгиба спиральной линии отбора проб превышают 0,5 м.

- 6) Температура линии отбора проб поддерживается на уровне $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ за счет интенсивного подогрева.
- 7) Расход проб газа поддерживается на уровне 25 ст. л/мин $\pm$ 2 ст. л/мин.

РАЗДЕЛ IV. СЕКЦИЯ 4.

§ 6. ВХОД ЦИКЛОННОГО СЕПАРАТОРА – ВХОД ПРИБОРОВ

15. Циклонный сепаратор. Циклонный сепаратор отвечает следующим требованиям:

- 1) Материалом циклонного сепаратора является нержавеющая сталь.
- 2) Циклонный сепаратор нагревается до $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- 3) Входной и выходной внутренние диаметры циклонного сепаратора меньше 15%-ной разницы относительно входного и выходного внутреннего диаметра линии отбора проб.
- 4) Характеристики циклонного сепаратора при расходе газа 25 ст. л/мин отвечают следующим техническим требованиям:
 - а) Граница раздела фракций: $D_{50} = 1,0 \text{ мкм} \pm 0,1 \text{ мкм}$.
 - б) Точность раздела: $(D_{16}/D_{84})^{0,5}$ менее чем или равно 1,25.
 - в) Падение давления: ΔP менее чем или равно 2 кПа.

§ 7. Разделитель 2

16. Разделитель 2 отвечает следующим требованиям:

- 1) Материалом корпуса разделителя 2 является нержавеющая сталь.
- 2) Разделитель 2 нагревается до $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.
- 3) Разделитель 2 разделяет пробу на три потока для подачи разбавленной пробы нлТЧ в:
 - а) мнлТЧmi,

- б) VPR,
- в) подпиточный поток.
- 4) Углы разделения по отношению к входящему потоку, являются, насколько это практически возможно, максимально острыми, не превышающими 35° .
- 5) Все потоки нлГЧ, насколько это практически возможно, следуют по кратчайшей схеме.
- 6) Геометрия разделителя 2 отвечает следующим требованиям:
 - а) Никаких обращенных к потоку ступенчатых плечевых соединений на внутренней стенке.
 - б) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 2 до входа нлГЧ_{mi}.
 - в) Никаких изменений во внутреннем диаметре от выхода разделителя 2 до входа VPR.

§ 8. Стык с системой измерения

17. Линия отбора проб к нлГЧ_{mi} и VPR отвечает следующим требованиям:

- 1) Материалом линии отбора проб является нержавеющей сталь или заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ.
- 2) **Рекомендация.** Если материалом линии отбора проб является заземленный насыщенный углеродом ПТФЭ, он должен отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.
- 3) Линия отбора проб нагревается до $60\text{ }^\circ\text{C} \pm 15\text{ }^\circ\text{C}$.
- 4) Никаких изменений во внутреннем диаметре между линией отбора проб и входами приборов.
- 5) Общая длина каждой линии от входа циклонного сепаратора до входа нлГЧ_{mi} и VPR является наименьшей, насколько это практически возможно, и не превышает 3 м.

РАЗДЕЛ V. СЕКЦИЯ 5.

§ 9. ИЗМЕРЕНИЕ нлТЧ

18. Канал подпитки потока. Компоненты канала подпитки потока отвечают следующим требованиям:

- 1) подкачивающий насос и регулятор потока должны поддерживать постоянный общий расход проб газа (суммарный расход подпиточного потока, нлТЧ_{mi} и VPR), равный 25 ст. л/мин $\pm$ 2 ст. л/мин до 10 кПА ниже окружающей среды, через секцию 3;
- 2) анализатор CO₂ должен постоянно измерять концентрацию CO₂ ниже по потоку от разбавителя 1 [CO₂]_{dil1} во время измерения нлТЧ.

Примечание 1. В зависимости от конфигурации отбора проб могут быть установлены несколько регуляторов потока и насосов.

Примечание 2. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

19. Рекомендация. Фракционные фильтры должны быть установлены выше по потоку от регуляторов потока для предотвращения повреждения компонентов.

20. Если нлТЧ_{mi} не производит измерение давления пробы, давление измеряется на выходе разделителя 2 в направлении канала подпитки потока.

21. Анализатор CO₂ отвечает следующим требованиям:

- 1) анализатор CO₂ устанавливается после регулятора потока;
- 2) анализатор CO₂ отвечает техническим требованиям к характеристикам, приведенным под заголовками "Анализаторы CO и CO₂" и "Анализатор CO₂" дополнения В к добавлению 3, за исключением 1).

22. Рекомендация. Общий диапазон анализатора CO₂ должен быть приблизительно в десять раз ниже анализатора CO₂, используемого в GL.

ДОПОЛНЕНИЕ Б К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ нлТЧ И ИХ ТАРИРОВКИ

Примечание 1. В настоящем дополнении масса элементарного углерода (ЕС) используется в качестве заместителя массы нлТЧ. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc9501).

Примечание 2. Подробное описание эталонного метода измерений на основе термооптического пропускания (ТОТ) содержится в §2 настоящего дополнения. Данный метод обычно применяется тарировочными лабораториями; не предполагается, что этот метод будут применять изготовители авиационных двигателей.

Примечание 3. В настоящем дополнении используются ссылки на следующие материалы ИСО: Международная организация по стандартизации, качество воздуха. Определение и разработка рабочих характеристик автоматизированной системы измерения. ИСО 9169, 2006.

§ 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. На каждую конструкцию и модель нлТЧ_{тi} изготовитель приборов или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они:

- 1) имеют диапазон измерений от 0 до 1000 мкг/м³ или больше;
- 2) имеют разрешающую способность 1 мкг/м³ или лучше;
- 3) являются нечувствительным к летучим твердым частицам.

Примечание 1. Летучие твердые частицы представляют собой выхлопной материал камеры сгорания, который испаряется при температурах меньших или равных 350°C.

Примечание 2. Данное техническое требование соблюдается, если нлТЧ_{тi}

отвечает содержащемуся в таблице А7-3 техническому требованию к характеристикам применимости;

- 4) отвечает техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в таблице А7-3.

Примечание 1. Ссылки на ИСО 9169 в таблице, которые обозначены звездочкой, относятся к разделам, в отношении которых применяются изменения, описанные в § 12 настоящего дополнения.

Примечание 2. Технические требования к характеристикам отражают пределы количественных величин, которые могут быть проверены с использованием термооптического пропускания (ТОТ) в качестве эталонного метода измерений. Описание метода ТОТ приводится в § 2.

Примечание 3. Во время ежегодной тарифовочной процедуры, изложенной в § 13 настоящего дополнения, необходимо применять только техническое требование к характеристикам точности.

Примечание 4. Применимость определяется согласно процедуре, приведенной в §9 настоящего дополнения.

Таблица А7-3. Технические требования к характеристикам приборов для определения массы нлТЧ (нлТЧmi)

Техническое требование к характеристикам	Значение (равное или меньше чем)	Метод определения
Повторяемость	10 мкг/м3	ИСО* 6.4.5.3
Дрейф нуля	10 мкг/м3/ч	ИСО 6.6 (только для СО)
Линейность	15 мкг /м3	ИСО* 6.4.5.4
Предел обнаружения (LOD)	1 мкг/м3	ИСО* 6.4.5.5
Время нарастания	2 с	ИСО 6.3
Интервал отбора проб	1 с	ИСО 2.1.7
Точность (Согласованность с массовой концентрацией ЕС, определенной на основе ТОТ)	±10 %	Кривая линейной регрессии между массовой концентрацией нлТЧmi и массовой концентрацией ЕС, определенной на основании ТОТ после тарифовки (таблица А7-5)

Применимость	$\pm 16 \%$	Валидация на выхлопе авиационного газотурбинного двигателя
--------------	-------------	--

§ 2. МЕТОД ТЕРМООПТИЧЕСКОГО ПРОПУСКАНИЯ (ТОТ)

2. Термооптическое пропускание (ТОТ) является эталонным методом измерения для демонстрации соблюдения технических требований к характеристикам каждой конструкции и модели нЛТЧ_{mi} и для тарировки нЛТЧ_{mi}. Этот метод позволяет определить ЕС и ОС в пробах нЛТЧ.

3. **Общие положения.** Анализатор ТОТ является либо лабораторным прибором (с пламеионизационным детектором, FID), либо прибором полунепрерывного действия (с нерассеивающим инфракрасным детектором (NDIR)).

4. Метод ТОТ использует температурный профиль, указанный в таблице А7-4.

Примечание. Инструктивный материал по методу ТОТ приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

§ 3. Реагенты и материалы

5. Используются следующие реагенты:

- 1) водный раствор химически чистой (99 % или выше) сахарозы, растворенной в сверхчистой H₂O, тип I, или ее эквивалента для получения 0,1–3 мг С на миллилитр раствора;
- 2) He – чистота 5,0 (больше чем 99,999 %);
- 3) H₂ – чистота 4,5 (больше чем 99,995 %);
- 4) нулевой воздух (содержащий менее 0,2 ppm углеводородов);
- 5) сертифицированная смесь 10 %-го O₂ в He;
- 6) сертифицированная смесь 5 %-го CH₄ в He.

6. Используется следующий материал:

- 1) для лабораторного прибора – приданный в комплекте с прибором металлический кернер для удаления прямоугольной части фильтра размером 1,0 или 1,5 см²;
- 2) для прибора полунепрерывного действия – приданный в комплекте с прибором металлический кернер для удаления двух круглых фильтров размером 2,0 см²;
- 3) фильтры из кварцевых волокон Pall TissuquartzTM или эквивалентные фильтры;
- 4) шприц на 10 микролитров.

§ 4. Подготовка фильтра

7. В зависимости от используемого прибора фильтры подготавливаются следующим образом:

- 1) для отбора проб и анализа ручным методом все фильтры из кварцевых волокон проходят предварительный обжиг в муфельной печи при температуре равной или превышающей 550 °С в течение 12 ч; или превышающей или равной 800 °С в течение 1–2 ч до отбора проб и хранятся в герметизированном контейнере; или
- 2) для анализатора полунепрерывного действия фильтры для измерения приводятся в надлежащее состояние путем проведения по крайней мере одного полного цикла измерений, описанного в таблице А7-4.

§ 5. Подготовка пробы

8. Фильтр с пробой помещается на чистую алюминиевую фольгу.

Примечание. Для протирки поверхности фольги можно использовать изопропиловый спирт или ацетон. В этом случае, прежде чем использовать фольгу, подождать пока остаточный растворитель не выветрится с поверхности. Иным образом, чистота фольги перед использованием может быть обеспечена путем термообработки в муфельной печи.

9. Репрезентативная часть фильтра кернуется и изымается. Для подготовки фильтров используется передовая лабораторная практика.

§ 6. Тарировка и контроль качества

10. Температурный датчик, регулирующий температуру печи, тарируется с

использованием отслеживаемого стандарта теплопередачи за год до любых проводимых анализов ТОТ.

11. При использовании лабораторного прибора тарируется реакция FID. Тарировка проводится по следующей процедуре:

- 1) приготовить внешний тарировочный эталон, состоящий из раствора сахарозы в воде, свободной от примеси органических веществ;
- 2) рассеять 10 микролитров раствора на образцы из нового и чистого, предварительно обожженного кварцевого фильтра;
- 3) проанализировать как минимум три холостых отбора проб и три пробы с раствором сахарозы, чтобы убедиться, что тарировка прибора показывает процентное извлечение теоретической массы С (мкгС измеренной/мкгС рассеянной) от 95 до 105 %.

12. При использовании прибора полунепрерывного действия тарируется реакция NDIR. Тарировка производится по следующей процедуре:

- 1) приготовить внешний тарировочный эталон, состоящий из раствора сахарозы в воде, свободной от органических примесей;
- 2) рассеять 10 микролитров раствора на образцы из отдельного заранее подготовленного "лодочного" фильтра, вставленного в нижнюю часть кварцевого полуцилиндра;
- 3) проанализировать как минимум три холостых отбора проб и три пробы с раствором сахарозы, чтобы убедиться, что тарировка прибора показывает процентное извлечение теоретической массы С (мкгС измеренной/мкгС рассеянной) от 95 до 105 %.

Таблица А7-4. Требуемый температурный профиль для цикла анализа по методу ТОТ

Транспортирующий газ	Температура (°C)	Время при температуре (секунды)
	310	80
	475	80
	615	80
	870	110

	550	45
	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5 % CH ₄ в He	0	120

13. Если для анализа фильтра требуется несколько дней, каждый день следует производить одну контрольную проверку качества, как правило, с использованием исходного раствора сахарозы, рассеиваемого на фильтр и соответствующим образом анализируемого. Результаты составляют 95–105 % теоретической массы С.

Примечание. Холостой отбор – это предварительно обожженный кварцевый фильтр без добавления сахарозы, но обрабатываемый аналогичным образом.

§ 7. Измерение

14. Измерение производится согласно следующей процедуре:

- 1) Анализатор TOT используется в соответствии с рекомендациями изготовителя.
- 2) Поместить часть пробы в печь для пробы.
- 3) Определить массу ЕС и ОС в мкг.

Примечание. Результаты анализатора TOT сообщаются в мкг/см² С.

- 4) В окончательные результаты пробы всегда вносится поправка на холостую пробу:

а) Для лабораторного прибора холостая проба состоит из предварительно обожженных фильтров из кварцевых волокон, обрабатываемых таким же образом, как и настоящие пробы, за исключением того, что через фильтр воздух не проходит. Массовая загрузка ЕС на единицу площади, большая чем или равная 0,3 мкг/см² в холостых пробах, означает загрязнение.

- б) Для анализатора полунепрерывного действия измерение комплекта внутренних фильтров осуществляется без прогона пробного газа через фильтры.
- 5) В окончательные результаты пробы всегда вносится поправка на артефакты газовой фазы ОС. Для такой поправки рабочие условия (продолжительность и расход газов) идентичны условиям, при которых отбираются пробы. В зависимости от используемого прибора применяется следующая процедура:
- а) Для лабораторных анализов используется конфигурация отбора проб, состоящая из тефлонового фильтра, за которым следует предварительно обожженный кварцевый фильтр тонкой очистки или предварительно обожженный кварцевый фильтр, за которым следует предварительно обожженный кварцевый фильтр тонкой очистки, при этом фильтр тонкой очистки анализируется, как указано в таблице А7-4. Обнаруженные любые концентрации ОС на фильтрах тонкой очистки вычитаются из ОС, обнаруженных на фильтрах отбора проб
- б) Для анализов полунепрерывного действия тефлоновый фильтр вставляется в конфигурацию отбора проб до анализатора. Любое количество ОС, обнаруженное в ходе такого измерения, вычитается из ОС, обнаруженного в ходе измерения пробы.

§ 8. Расчеты

15. В отношении лабораторного прибора:

- 1) умножить зарегистрированный результат загрузки ЕС (мкг/см^2) на площадь осадка в фильтре (см^2) для расчета общей массы ЕС (мкг) на каждой пробе из фильтра (W_{EC});
- 2) произвести такой же расчет, как в а), для холостых проб и рассчитать массу, обнаруженную в средней холостой пробе (W_b);
- 3) рассчитать массовую концентрацию ЕС (C_{EC}) в объеме воздуха, отобранном при условиях STP, V (в м^3):

$$C_{\text{EC}} = \frac{W_{\text{EC}} - W_b}{V} \quad (\text{мкг} / \text{м}^3).$$

Примечание 1. Прибор полунепрерывного действия дает массовую концентрацию ЕС как сообщаемый результат.

Примечание 2. Инструктивный материал, касающийся принципа метода TOT, приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501).

§ 9. ПРОЦЕДУРА ДЕМОНСТРАЦИИ СОБЛЮДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Примечание. Описанная в настоящем разделе процедура используется для того, чтобы продемонстрировать соблюдение технических требований к характеристикам каждой конструкции и модели нЛТЧті.

16. Перечисленные в таблице А7-3 технические требования к характеристикам демонстрируются с использованием метода TOT, описанного в § 2 настоящего дополнения. Измерения производятся с использованием двух следующих источников: источник аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени и источник выхлопных нЛТЧ газотурбинного двигателя.

§ 10. Измерение с использованием источника аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени

17. Система измерения содержит:

- 1) источник аэрозоля от сжигания в диффузионном пламени;
- 2) систему разбавления, использующую отфильтрованный с помощью НЕРА разбавляющий газ, для регулирования целевых массовых концентраций ЕС;
- 3) циклонный сепаратор с границей раздела фракций в 1 мкм, установленный выше по потоку от приборов TOT и нЛТЧті;
- 4) узел разделителя, отвечающий требованиям в п. 4 и п.6 ч.16 §4 раздела 4 дополнения А к настоящему добавлению.

Примечание. Эквивалентная методика приведена в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501);

- 5) трубопроводы из нержавеющей стали или антистатического материала, соединяющие ручной зонд для отбора проб кварцевого фильтра или

анализатор ЕС/ОС полунепрерывного действия и нлТЧмі. Все трубопроводы используют тот же самый материал, имеют одинаковую длину и температуру от точки разделения до входа приборов;

- 6) **Рекомендация.** Если используется антистатический трубопровод, трубопровод должен отвечать антистатическому требованию в ИСО 8031.

18. В зависимости от используемого прибора для измерения ТОТ соблюдаются следующие требования:

1) если используются ручной метод отбора проб и лабораторный анализатор, применяется один предварительно обожженный кварцевый фильтр в фильтродержателе из нержавеющей стали, имеющем конусную входную секцию с полууглом $\leq 12,5^\circ$, работающий при фронтальной скорости фильтрации меньше или равной 0,5 м/с в фактических эксплуатационных условиях. Диаметр осадки в фильтре является достаточно большим, с тем чтобы позволить отбор по крайней мере одного образца из каждого фильтра. Анализируется по крайней мере один образец из каждой отобранной пробы с кварцевого фильтра; или

2) если используется анализатор ТОТ полунепрерывного действия, он работает с фронтальной скоростью фильтрации, меньшей или равной 0,5 м/с.

19. Измерения производятся на многорядных уровнях целевой массовой концентрации ЕС, указанной в таблице А7-5. Полученные массовые концентрации ЕС находятся в пределах 20 % от указанных целевых массовых концентраций.

20. На каждом уровне ряда концентрации пробы отбираются в течение одинакового периода времени для определения повторяемой загрузки ЕС в фильтре. Загрузка ЕС в фильтре находится в пределах $12 \text{ мкг/см}^2 \pm 5 \text{ мкг/см}^2$.

21. Время усреднения, определенное в ИСО 9169, является таким же, как и время сбора проб в фильтре.

22. Среднее содержание ЕС, определенное по методу ТОТ, превышает или равно 80 % от общего содержания С.

23. Массовые концентрации ЕС по методу ТОТ и массовые концентрации нлТЧмі используются для определения параметров, как указано в §12 настоящего дополнения, которые демонстрируют соблюдение технических требований к характеристикам в таблице А7-3.

Таблица А7-5. Параметры массовой загрузки ЕС для тарировочных проб

<i>Целевая концентрация (мкг/м³)</i>	<i>Сертификат об утверждении Кол-во испытаний</i>	<i>Ежегодная тарировка Кол-во испытаний</i>
0 (холостой прогон)	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

24. Рекомендация. Для ежегодной тарировки следует проводить испытания в трех точках при 50 мкг/м³.

§ 11. Измерение с использованием источника нЛТЧ в выхлопных газах газотурбинного двигателя

25. Для источника нЛТЧ в выхлопных газах газотурбинного двигателя повторяется процедура в ч.20 - ч.21 §10 с помощью системы измерения, указанной в пп. 3), 4), 5) ч.17 §10 и ч.18 §10, и системы разбавления, использующей отфильтрованный с помощью НЕРА разбавляющий газ.

Примечание. Следует применять достаточную степень разбавления, чтобы не допустить конденсации воды в линии отбора проб.

26. Замеры данных производятся как минимум в четырех точках по меньшей мере для трех различных величин тяги с повторными измерениями на одной из величин тяги с использованием указанной выше системы отбора проб нЛТЧ. Измерения производятся как минимум в трех точках целевых концентраций, каждая из которой отстоит одна от другой по крайней мере на коэффициент 1,5, и по крайней мере одна концентрация превышает 120 мкг/м³, а по крайней мере одна концентрация находится на уровне ниже 120 мкг/м³. Загрузка ЕС в фильтре для этих четырех точек измерений составляет от 2,5 до 17 мкг/см².

27. Массовые концентрации ЕС по методу TOT и массовые концентрации

нЛТЧт_і используются для определения применимости, указанной в таблице А7-3, чтобы продемонстрировать соблюдение технических требований к характеристикам.

28. Топливо, используемое при испытаниях двигателя, является одним из видов авиационного топлива для газотурбинных двигателей, перечисленных в п. 3.2 главы 3 документа ИКАО *"Руководство по снабжению гражданской авиации реактивным топливом"* (Дос 9977). Такое же топливо используется для упомянутых (как минимум) четырех точек измерения.

§ 12. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ

29. Параметры характеристик нЛТЧт_і – дрейф нуля, время нарастания и частота отбора проб определяются согласно пп. 6.6, 6.3 и 2.1.7 ИСО 9169 соответственно.

30. Параметр повторяемости нЛТЧт_і в 95%-ном доверительном интервале определяется с использованием шести последовательных измерений на каждом уровне концентрации следующим образом:

$$s_{\Gamma i}^2 = s_{Y_i}^2 - \Delta^2 \cdot s_{C_i}^2,$$

где:

$$s_{Y_i}^2 = \frac{\sum_j^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{(n-1)}$$

s_{C_i} – стандартное отклонение C_{ij} в j для уровня i ,

Y_{ij} – результат измерения прибором исходного материала C_{ij} ,

C_{ij} – j й образец концентрации исходного материала на уровне i ,

$\bar{Y}_i$ – среднее значение Y_{ij} в j ,

n – число последовательных измерений на каждом уровне концентрации (минимум 6),

Δ – кривая функция регрессии, применяемая при отсутствии установочной проверки, определяемая с помощью указанных ниже уравнений:

$$E_{ij} = Y_{ij} - (\Gamma + \Delta \times C_{ij}),$$

$$\bar{E}_i = \frac{\sum^n E_{ij}}{n}$$

$\bar{E}_i$ – среднее значение E_{ij} в j ,

где:

E_{ij} – разница между C_{ij} и Y_{ij} ,

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n},$$
 – точка пересечения функции регрессии, применяемой при отсутствии установочной проверки.

Примечание. Если определенная таким образом повторяемость является отрицательной, указывающей на то, что колебания измерений нельзя выделить из вариабельности исходного материала, испытание следует повторить, уделив дополнительное внимание стабильности источника исходного материала (поток источника нЛТЧ в диффузионном пламени и режимы давления), а также точности определения уровня исходного материала (загрузка и процедуры по методу TOT). При отсутствии этого воспроизводимость может быть сообщена как "значительно лучше, чем $\Delta \cdot s^2$ ".

31. Линейность нЛТЧ_{mi} определяется, как указано в п. 6.4.5.4 ИСО 9169, однако остаток определяется по следующей формуле:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}.$$

32. LOD нЛТЧ_{mi} определяется, как указано в п. 6.4.5.5 ИСО 9169. Если прибор не производит измерений, когда в пробе частицы отсутствуют, используется более высокая массовая концентрация нЛТЧ, (C_{LOD}), чуть выше нуля таким образом, чтобы прибор выдавал регулярные показания. В этом случае LOD определяется как:

$$Y_{D,0,95} = \bar{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0,95} \times s_{LOD},$$

где:

$Y_{LOD,0,95}$ – предел обнаружения в 95%-ном доверительном интервале,

$\bar{Y}_{LOD}$ – среднее значение $Y_{LOD,j}$,

C_{LOD} – среднее значение $C_{LOD,j}$,

$t_{v,0,95}$ – двусторонний коэффициент Стьюдента в 95%-ном доверительном интервале, степень $v = n-1$,

s_{LOD} – стандартное отклонение, связанное со средним Y_{LOD} .

Примечание. Исходный материал может быть не одинаков при последующих измерениях, производимых в течение времени усреднения. Таким образом, каждое определение значения исходного материала может быть различным, хотя и хорошо известным по определению методом TOT. Для учета такой вариабельности определения ИСО 9169 изменены.

§ 13. ТАРИРОВКА

33. НЛТЧ_{mi} тарируется ежегодно с использованием метода TOT и компоновки системы, указанной в ч.17 §10 и ч.18 §10 настоящего дополнения.

34. Измерения производятся на многорядных уровнях целевой массовой концентрации ЕС, указанной в таблице А7-5. Полученные массовые концентрации ЕС находятся в пределах ± 20 % от указанных целевых массовых концентраций.

35. На каждом уровне ряда концентрации пробы отбираются в течение аналогичного периода времени для определения повторяемой загрузки ЕС в фильтре. Загрузка ЕС в фильтре составляет $12 \text{ мкг/см}^2 \pm 5 \text{ мкг/см}^2$.

36. Время усреднения, определенное в ИСО 9169, является таким же, как и время отбора пробы в фильтре.

37. Массовые концентрации ЕС по методу TOT и массовые концентрации нлТЧ_{mi} используются для установления наилучшей аппроксимации данных в точках измерения, полученных в результате тарировки приборов. Используется метод линии наименьших квадратов для определения коэффициента масштабирования b для корректировки массовых концентраций нлТЧ, полученных от нлТЧ_{mi}, следующим образом:

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2},$$

где

x_i – $i^{\text{е}}$ измерение нлТЧ_{mi},

y_i – $i^{\text{я}}$ массовая концентрация

ЕС по TOT, b – кривая

наилучшей аппроксимации.

Примечание 1. После применения коэффициента масштабирования b кривая линейной регрессии анализов проб ЕС по сравнению с показаниями прибора, скорректированными по b , математически равняется 1,0, и требование по кривой в таблице А7-3 будет соблюдено по определению.

Примечание 2. Ввиду ожидаемых неопределенностей в повторяемости анализов проб ЕС по TOT повторение вышеуказанного процесса в той же или другой лаборатории может дать другую кривую без каких-либо изменений в реакции прибора. Содержащиеся в таблице А7-3 технические требования к точности призваны учесть такую вариабельность.

38. Рекомендация. До проведения каждой ежегодной тарировки следует оценивать характеристики каждого прибора измерения массы в его "текущем состоянии" при массовой концентрации ЕС в 100 мкг/м^3 , указанной в таблице А7-5. Такая оценка позволит отследить связь с предыдущими тарировками прибора и сравнить текущие и новые тарировочные постоянные.

ДОПОЛНЕНИЕ В К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ УЛОВИТЕЛЯ ЛЕТУЧИХ ЧАСТИЦ, ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА нЛТЧ И ИХ ТАРИРОВКИ

§ 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Технические требования к VPR. На каждую конструкцию и модель уловителя летучих частиц (VPR) изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они отвечают техническим требованиям к характеристикам, перечисленным в данном дополнении.

2. Коэффициент разбавления (DF_2) VPR отвечает следующим требованиям:

- 1) DF_2 корректируется для поддержания массовой концентрации частиц в режиме однократного подсчета конденсационного счетчика частиц (CPC) и для уменьшения температуры пробы до уровня от 10 до 35 °C на входе CPC.
- 2) Вариабельность DF_2 составляет менее 10 %.

3. Нагреваемая секция, которая испаряет летучие виды, поддерживается при температуре 350 °C $\pm$ 15 °C.

4. Если в VPR предусмотрено несколько стадий нагревания, дополнительная регулировка температуры составляет $\pm$ 15 °C от рабочих температур, указанных изготовителем VPR.

5. Регулятор давления газа в пробе отвечает следующим требованиям:

- 1) Устройство регулирования давления позволяет подавать разбавленную пробу в CPC в пределах $\pm$ 15 кПа от внешнего (на выхлопе CPC) давления.
- 2) Давление не превышает 105 кПа.

6. Минимальные допустимые доли проникновения частиц через VPR для каждого режима разбавления отвечают техническим требованиям, перечисленным в таблице A7-6.

**Таблица А7-6. Минимальные допустимые доли
проникновения через VPR при четырех диаметрах частиц**

Диаметр электрической подвижности частицы, D_m	15 нм	30 нм	50 нм	100 нм
Минимальная доля проникновения, $\eta_{VPR}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70

7. Эффективность удаления летучих частиц (VRE) уловителя VPR является таковой, чтобы улавливались более 99,5 % татраконтана ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3$, превышающих 95%-ную чистоту) частиц с концентрацией на входе, составляющей по крайней мере 10,000 частиц/см³ при диаметре электрической подвижности в 30 нм. Такая VRE демонстрируется, когда VPR работает на минимальном режиме разбавления и при рекомендованной изготовителем рабочей температуре.

8. Если в VPR используется каталитический удалитель, разбавляющий газ содержит по крайней мере 10 % O₂.

§ 2. Стык VPR с СРС

9. Трубка, соединяющая выход VPR с входом СРС, отвечает следующим требованиям:

- 1) Материал является электропроводящим.
- 2) Трубка имеет внутренний диаметр больше чем или равный 4 мм.
- 3) Время пребывания пробы в трубке меньше чем или равно 0,8 с.

§ 3. Технические требования к СРС

10. На каждую конструкцию и модель СРС изготовитель прибора или другая компетентная испытательная и тарировочная лаборатория выдают сертификат, подтверждающий, что они отвечают перечисленным ниже техническим требованиям к характеристикам.

11. Допускается функция поправки на совпадение до максимум 10 % поправки. Функция поправки на совпадение не использует какой-либо алгоритм для корректировки или определения эффективности подсчета.

12. Подсчет частиц отвечает следующим требованиям:

- 1) Режим подсчета является режимом однократного подсчета. Использование СРС в фотометрическом режиме не допускается. Таким образом, для обеспечения режима однократного подсчета по мере необходимости

увеличивается DF_2 .

- 2) Точность подсчета составляет $\pm 10\%$ от 2000 частиц/см³ до верхнего порога режима однократного подсчета частиц по отслеживаемому стандарту (ИСО 27891).
- 3) Эффективность подсчета превышает или равна 50 % при диаметре электрической подвижности 10 нм и превышает или равна 90 % при диаметре электрической подвижности 15 нм.
- 4) Эффективность подсчета определяется с использованием аэрозоля масла Emery.

13. Частота получения данных превышает или равна 1 Гц в течение минимального интервала в 30 с после стабилизации двигателя.

14. Численная концентрация частиц сообщается как частицы/см³ при условиях STP. Если сообщаемое значение не соответствует условиям STP, измеряется абсолютное давление на входе CPC с точностью, превышающей 2 %, с тем чтобы численную концентрацию можно было привести к условиям STP согласно рекомендациям изготовителя.

15. Разрешающая способность лучше, чем 0,1 частиц/см³ при концентрациях ниже 100 частиц/см³.

16. Время нарастания составляет менее 4 с.

17. Поток пробы является полнопоточным. Разделение внутри потока не допускается.

18. Рабочей жидкостью является н-бутанол.

19. Реакция является линейной.

20. Требования к системе. t_{90} от входа VPR через CPC равна или меньше 10 с.

§ 4. ТАРИРОВКА

21. VPR

Рекомендация. До проведения каждой тарировки VPR он должен быть апробирован "в текущем состоянии" при одном значении DF_2 , характерном для измерений на авиационных газотурбинных двигателях. Такое апробирование

должно включать коэффициент разбавления VPR при выбранном значении DF_2 , определение доли проникновения и VRE.

22. Тарировка DF_2 отвечает следующим требованиям:

- 1) DF_2 тарируется на каждом значении разбавления VPR согласно изготовителю VPR.
- 2) **Рекомендация.** Тарировка DF_2 должна производиться компетентной лабораторией с использованием либо следовых газов, таких как CO_2 , либо расходомерии.

23. Тарировка доли проникновения частиц через VPR отвечает следующим требованиям:

- 1) Доля проникновения частиц через VPR измеряется при 350 °C с диаметрами электрической подвижности твердых частиц 15, 30, 50 и 100 нм для каждого значения разбавления VPR. В VPR подаются как минимум 5000 частиц/см³ по всем указанным четырем размерам частиц. Если для проникновения частиц используется сажа, может потребоваться устройство термической подготовки с нагревом до 350 °C для подачи в VPR только нЛТЧ.
- 2) Концентрации частиц измеряются выше и ниже по потоку от VPR с помощью CPC, имеющим по крайней мере 90%-ную эффективность подсчета частиц с диаметром электрической подвижности, превышающим или равным 15 нм.
- 3) Доля проникновения частиц через VPR определяется следующим образом:

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)},$$

где:

$N_{in}(D_m)$ – численная концентрация частиц с D_m выше по

потоку, $N_{out}(D_m)$

– численная концентрация

частиц с D_m ниже по потоку,

- 4) $N_{in}(D_m)$ и $N_{out}(D_m)$ соответствуют одним и тем же условиям T и P.
- 5) **Рекомендация.** VPR должен быть оттарирован как цельный узел.

24. VPR VRE

- 1) VRE определяется с помощью CPC, имеющего по крайней мере 90%-ную эффективность подсчета частиц с диаметром электрической подвижности, превышающим или равным 15 нм, по следующей формуле:

$$VRE(D_{30}) = 100 \times \left[1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})} \right]$$

где:

$VRE(D_{30})$ – VRE для частиц с D_{30} ,

$N_{in}(D_{30})$ – численная концентрация частиц с D_{30} выше по

потoku, $N_{out}(D_{30})$ –

численная концентрация частиц с D_{30} ниже по
потoku, D_{30} – диаметр электрической подвижности частиц;

2) $N_{in}(D_{30})$ и $N_{out}(D_{30})$ соответствуют одним и тем же условиям T и P .

§ 5. Тарировка СРС

25. Тарировка СРС отслеживается до стандартного метода тарировки (ИСО 27891): путем сравнения реакции тарируемого СРС с реакцией тарированного аэрозольного электрометра при одновременном отборе проб тарировочных электростатически классифицированных частиц.

26. Рекомендация. *Перед каждой тарировкой СРС он должен быть апробирован ("в текущем состоянии").*

27. Тарировка и апробирование производятся в соответствии с описанной ниже процедурой:

1) Эффективность обнаружения СРС тарируется по частицам с диаметром электрической подвижности 10 и 15 нм. СРС имеет эффективность подсчета, превышающую или равную 50 % при 10 нм и превышающую или равную 90 % при 15 нм.

2) Тарировочным аэрозолем является масло Emery.

ДОПОЛНЕНИЕ Г К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ В ОТНОШЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Как предписывается в ч.8 §2 добавления 7, предоставляются данные, содержащиеся в таблицах А7-7 и А7-8.

**Таблица А7-7. Требования в отношении содержания нлТЧ в
окружающей среде**

Требуемые данные	Единицы
Массовая концентрация нлТЧ в окружающей среде ($\text{нлТЧ}_{\text{mass_STP}}$)	мкг/м ³
Численная концентрация нлТЧ в окружающей среде ($\text{DF}_2 \times \text{нлТЧ}_{\text{num_STP}}$)	частицы/см ³

Таблица А7-8. Требования в отношении параметров системы отбора проб и измерения нлТЧ

Параметр	Единица
Температура на входе пробоотборника ($T_{\text{engine_exit}}$) (Эквивалентна указанной в характеристиках двигателя температуре выхлопных газов T_{EGT})	°C
Измеренная температура на входе разбавителя 1 (T_1)	°C
Индивидуальный расход газов (Измеренные секция 3 и секция 4; практическая оценка секции 1, секции 2)	ст.л/мин
Внутренние диаметры отдельных труб для секций 1–4	мм
Длина отдельных секций 1–4	м
Температуры стенок отдельных труб для секций 1–4	°C
Общий угол изгиба(ов) трубки отбора проб секции 1	градусы
Граница раздела фракций D_{50} циклонного сепаратора (спецификация изготовителя)	нм
Точность раздела циклонного сепаратора (спецификация изготовителя)	десятичная дробь
Четыре значения проникновения через разбавитель 1 (дополнение А, таблица А7-2)	десятичная дробь
Четыре значения проникновения для тарировки VPR (дополнение С, таблица А7-6)	десятичная дробь
Два значения эффективности подсчета для тарировки CPC	десятичная дробь
Коэффициент разбавления первой стадии, DF_1	
Коэффициент разбавления второй стадии (VPR), DF_2	
Массовая концентрация частиц с поправкой на DF_1 : $\text{DF}_1 \times \text{нлТЧ}_{\text{massSTP}}$	мкг/м ³
Численная концентрация частиц с поправкой на DF_1 и DF_2 : $\text{DF}_1 \times \text{DF}_2 \times \text{нлТЧ}_{\text{numSTP}}$	частицы/см ³

ДОПОЛНЕНИЕ Д К ДОБАВЛЕНИЮ 7. ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМОЙ

§ 1. ПРОВЕРКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА И ГАЗОВОЙ ЛИНИИ НА УТЕЧКУ

1. Процедура проверки на утечку. До проведения серии испытаний двигателя коллекторный блок и GL проверяются на утечку согласно следующей процедуре:

- 1) изолировать GL от измерительного блока нЛТЧ с помощью отсечного клапана 1, регулировочного клапана давления P_1 и дополнительного запорно-выпускного клапана, если таковой установлен;
- 2) изолировать пробоотборник и анализаторы;
- 3) подсоединить и включить вакуумный насос для проверки величины утечки в системе;
- 4) при отсутствии потока разряжение в вакуумном насосе по отношению к атмосферному давлению составляет – 75 кПа; при стандартных температуре и давлении полный расход через него составляет не менее 26 л/мин.

2. Требование в отношении проверки на утечку. Величина утечки в системе составляет менее 0,4 ст. л/мин.

§ 2. ПРОВЕРКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА И ГАЗОВОЙ ЛИНИИ НА ЧИСТОТУ

3. Такая проверка осуществляется только в том случае, если используется метод расчета EI нЛТЧ для всех видов газообразных веществ.

4. Процедура проверки на чистоту. Коллекторный блок и GL проверяются на чистоту согласно следующей процедуре:

- 1) изолировать GL от измерительного блока нЛТЧ с помощью отсечного клапана 1 и регулировочного клапана давления P_1 ;
- 2) изолировать GL от пробоотборника и подсоединить конец линии отбора проб к источнику нулевого газа;
- 3) подогреть систему до рабочей температуры, необходимой для проведения измерений содержания HC;

- 4) включить насос отбора проб и установить величину расхода, равную величине, которая используется при испытаниях на эмиссию двигателей;
- 5) зарегистрировать показание анализатора содержания НС.

5. Требование в отношении проверки на чистоту.

6. Показание содержания НС не превышает 1 % от уровня эмиссии двигателя на режиме малого газа или 1 ppm (выраженных через содержание углерода), в зависимости от того, какая величина больше.

7. Рекомендация. *Рекомендуется контролировать качество всасываемого воздуха в начале и конце испытания двигателя и по крайней мере каждый час в ходе испытания. Если уровни НС считаются значительными, то их следует учитывать.*

§ 3. ПРОВЕРКА ПЕРЕДАТОЧНОГО БЛОКА НА ЧИСТОТУ/УТЕЧКУ

Примечание 1. Проверки на чистоту могут дать отрицательные результаты из-за загрязнения компонентов передаточного блока или утечек в передаточном/измерительном блоках.

Примечание 2. Утечка в системе приведет к всасыванию в систему частиц окружающего воздуха.

8. Процедура проверки на чистоту/утечку

9. До проведения серии испытаний двигателя передаточный блок проверяется на чистоту и утечку согласно следующей процедуре:

- 1) подать фильтрованный разбавляющий газ через разбавитель 1 при закрытом отсечном клапане 1;
- 2) величины расхода газа в каждом потоке разделителя 2 равны величинам, используемым при испытании двигателя;
- 3) установить DF_2 на самое нижнее значение VPR.

10. Когда измеренные массовые и численные концентрации нлТЧ

стабилизируются, регистрировать данные в течение как минимум 30 с.

Примечание. Технологическая схема проверки на чистоту передаточного блока показана на рис. А7-4.

§ 4. Требование в отношении проверки на чистоту/утечку

11. 30-секундная усредненная массовая концентрация нлТЧ (нлТЧ_{mass_STP}) составляет менее 1 мкг/м³.

12. 30-секундная усредненная численная концентрация нлТЧ (нлТЧ_{num_STP}) составляет менее 2,0 частиц/см³.

13. Рекомендация. Если проверка на чистоту дает отрицательный результат, систему сначала следует проверить на утечку. Если утечки не обнаружены, следует осмотреть и промыть коллекторный резервуар циклонного сепаратора. Если проверка на чистоту все-таки дает отрицательный результат, возможно потребуется промыть или заменить отрезки системы отбора проб.

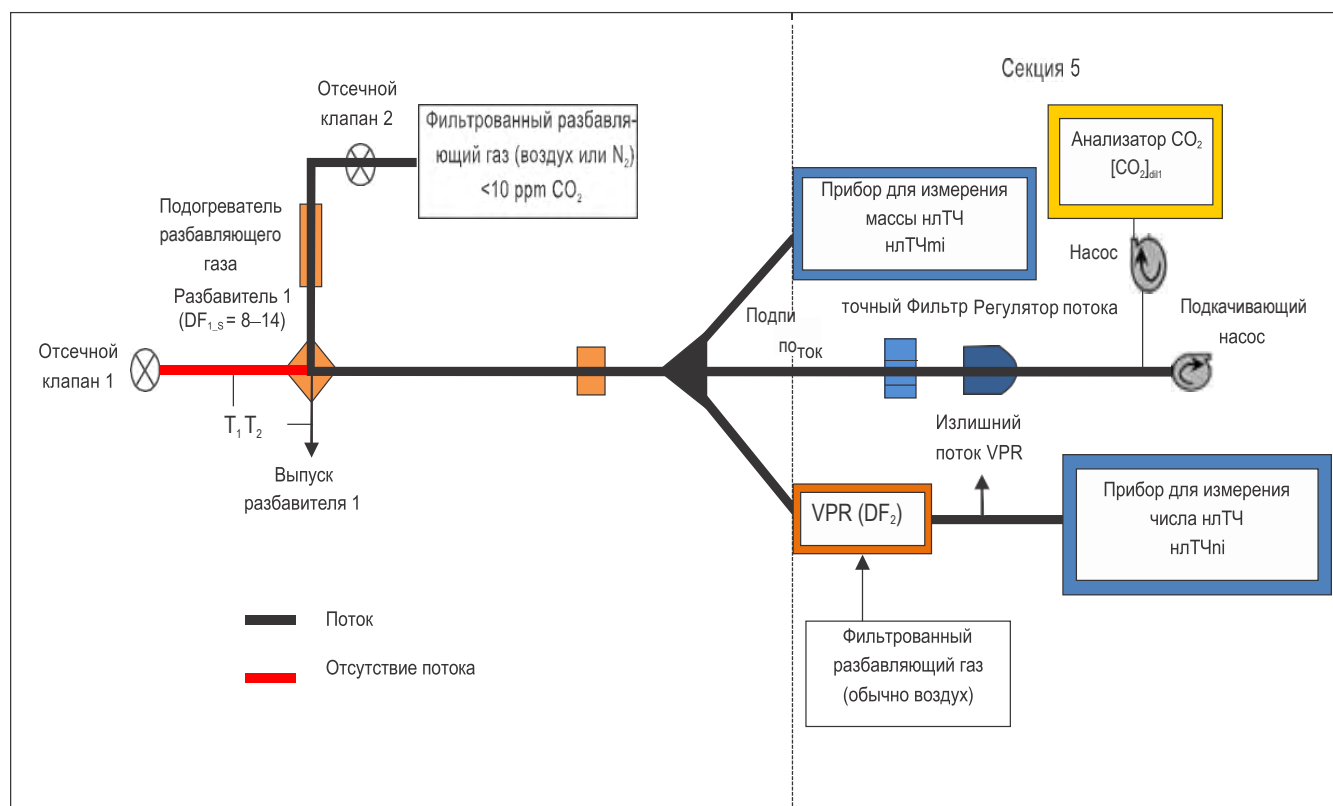


Рис. А7-4. Технологическая схема проверки передаточного блока на чистоту

§ 5. ОБРАТНАЯ ПРОДУВКА КОЛЛЕКТОРНОГО БЛОКА

14. Для очистки пробоотборников и линий отбора проб секции 1 от несгоревшего топлива осуществляется обратная продувка секции 1 во время запуска и выключения двигателя, как показано на рис. А7-5.

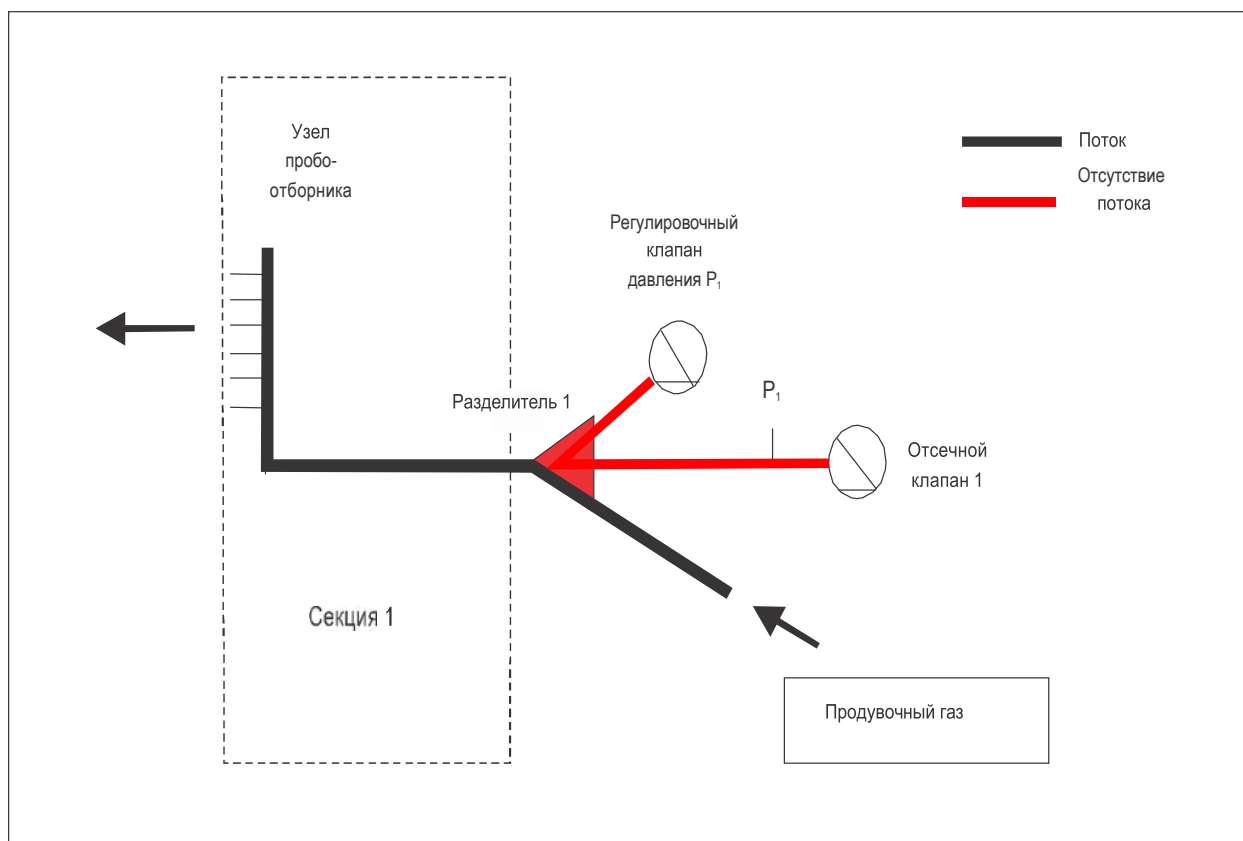


Рис. А7-5. Технологическая схема обратной продувки секции 1

§ 6. ИЗМЕРЕНИЕ нЛТЧ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

15. Общие положения. До и после испытания двигателя замеряются массовая и численная концентрации нЛТЧ в окружающей среде, репрезентативные для воздухозаборника двигателя, и сообщаются как среднее значение этих двух измерений.

16. Рекомендация. Для получения репрезентативности в закрытой испытательной камере рекомендуется делать замеры частиц в окружающей среде во время работы двигателя. Первый замер окружающей среды следует сделать как минимум через 5 мин после запуска двигателя.

§ 7. Процедура отбора нлТЧ в окружающей среде

17. Массовая и численная концентрации нлТЧ в окружающей среде, репрезентативные для воздухозаборника двигателя, отбираются следующим образом:

18. Метод 1: отбор через выпуск разбавителя 1

19. Для отбора через выпуск разбавителя 1 используется система отбора проб и измерения нлТЧ. При отборе проб через выпуск разбавителя 1 используется следующая процедура:

- 1) Перекрыть подачу разбавляющего газа в разбавитель 1 отсечным клапаном 2 и убедиться, что отсечной клапан 1 закрыт.
- 2) ***Рекомендация.** Когда перекрывается поток разбавляющего газа, следует не допускать перегрева нагревателя разбавляющего газа.*
- 3) Проследить, чтобы значения расхода газа в каждом потоке разделителя 2 были равны значениям, используемым во время испытания двигателя.
- 4) Когда измеренные массовая и численная концентрации нлТЧ стабилизируются, регистрировать данные как минимум в течение 3 мин.

Примечание. Технологическая схема измерения нлТЧ в окружающей среде по методу 1 показана на рис. А7-6.

20. Такая схема используется только в том случае, если расположение выпускного отверстия дает представительную пробу воздухозаборника двигателя.

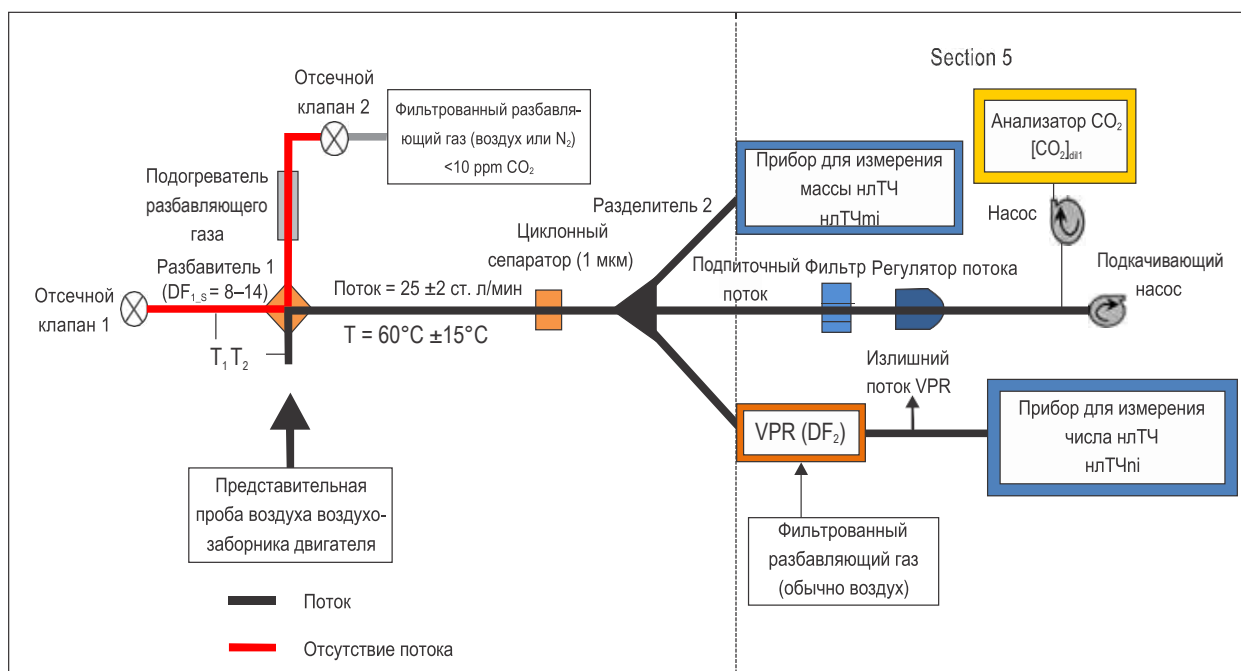


Рис. А7-6. Технологическая схема измерения частиц в окружающем воздухе

21. Метод 2: дополнительная система измерения нлТЧ

22. Дополнительная система отбора проб и измерения нлТЧ в окружающей среде отвечает следующим требованиям:

- 1) система отбора проб нлТЧ в окружающей среде соответствует содержащимся в дополнении А к настоящему добавлению требованиям в отношении секции 3 и секции 4 системы отбора проб;
- 2) нлТЧmi, VPR и нлТЧni соответствуют дополнениям В и С к настоящему добавлению;
- 3) входной патрубок системы отбора проб нлТЧ в окружающей среде располагается в пределах 50 м от входного сечения воздухозаборника двигателя.

23. При отборе проб с помощью дополнительной системы отбора проб и измерения нлТЧ используется следующая процедура:

- 1) проследить, чтобы значения расхода газа в каждом канале разделителя 2 были равны значениям, используемым во время испытания двигателя;
- 2) когда измеренные массовые и численные концентрации нлТЧ стабилизируются, регистрировать данные как минимум в течение 3 мин.

24. Требования в отношении частиц в окружающей среде

25. Сообщаются трехминутные усредненные значения массовой концентрации нЛТЧ ($\text{нЛТЧ}_{\text{mass_STP}}$) и численной концентрации нЛТЧ с поправкой на DF_2 ($\text{DF}_2 \times \text{нЛТЧ}_{\text{num_STP}}$).

Примечание. Уровень массовой концентрации нЛТЧ в окружающей среде может быть ниже LOD прибора нЛТЧті.

26. Рекомендация. Среднее значение концентрации нЛТЧті с поправкой на DF_2 должно быть больше десятикратного значения, замеренного при проверке на чистоту. Если такая проверка дает отрицательный результат, следует проверить работу системы (местоположения клапанов, значения расхода газа, давления и температуры) и повторить измерения.

27. Рекомендация. Если уровни нЛТЧ в окружающей среде считаются значительными, тогда их следует принимать во внимание.

§ 8. ПРОВЕРКА ТАРИРОВКИ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗБАВЛЕНИЯ VPR

28. Коэффициенты разбавления VPR (DF_2), которые предполагается использовать во время испытания двигателя, проверяются с помощью следующих компонентов:

- 1) газоанализатор CO_2 , соответствующий дополнению В к добавлению 3;
- 2) сертифицированный газ CO_2 высокой концентрации с чистотой CO_2 2,0 (больше чем 99,0 %).

Примечание. Инструктивный материал приведен в томе II "Методики сертификации авиационных двигателей по эмиссии" Технического руководства по окружающей среде (Doc 9501);

- 3) подсоединить газоанализатор CO_2 к выходу VPR с помощью соединительного тройника во избежание повышения давления пробы CO_2 ;
- 4) подсоединить газ CO_2 высокой концентрации к входу VPR с использованием соединительного тройника и регулировочного клапана потока для создания давления на входе VPR, соответствующего условиям испытания двигателя;
- 5) обеспечить на входе VPR такой же расход и давление пробы газа, как и во время испытания двигателя.

Примечание. Технологическая схема проверки коэффициента разбавления VPR показана на рис. А7-7.

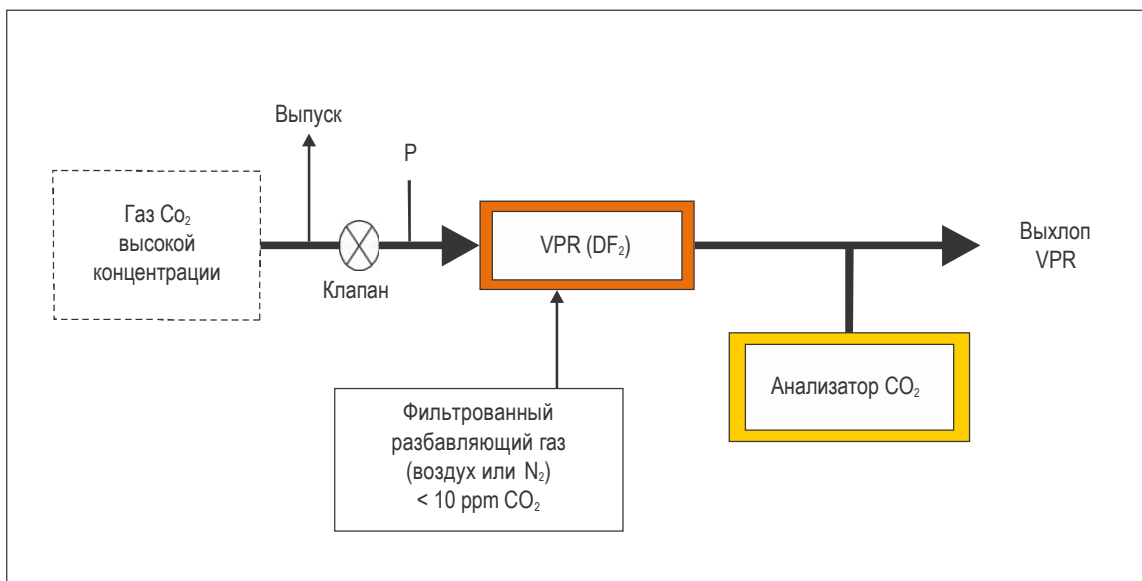


Рис. А7-7. Схема проверки коэффициента разбавления VPR

29. Коэффициент разбавления VPR (DF_2) проверяется с помощью следующей процедуры:

- 1) прогреть VPR и убедиться, что достигнуты рабочие температуры;
- 2) проверить, чтобы входной патрубок VPR всасывал поток проб;
- 3) соответственно прогреть анализатор CO_2 и подготовиться к регистрации данных;
- 4) ввести соответствующий нулевой тарировочный газ в анализатор CO_2 и произвести необходимую настройку приборов;
- 5) ввести соответствующий тарировочный газ, концентрация которого соответствует 90 % номинального значения FS анализатора CO_2 для всех подлежащих использованию диапазонов, и соответственно настроить и зарегистрировать уровни усиления;
- 6) обеспечить надлежащий уровень потока пробы в анализатор CO_2 (может потребоваться насос выше по потоку от анализатора CO_2);
- 7) подать газ CO_2 высокой концентрации на вход VPR, обеспечив наличие излишнего потока на выпуске выше по потоку от входа VPR.
- 8) установить VPR на значение коэффициента разбавления;
- 9) настроить регулировочный клапан потока на входе VPR, создав падение давления, имитирующее давление пробы ниже окружающего давления на

входе VPR при проведении измерения нЛТЧнi во время испытания двигателя;

- 10) отобрать пробу выхлопного потока VPR с помощью газоанализатора CO₂;
- 11) когда показания газоанализатора CO₂ стабилизируются, зарегистрировать показания концентрации CO₂ как минимум в семи точках измерения в течение 3-минутного периода и рассчитать среднюю величину;
- 12) рассчитать среднее значение DF₂ как отношение средних значений измерения CO₂ и концентрации сертифицированного газа CO₂;
- 13) повторить операции в п.8) ч.29 §8 - п.12) ч.29 §8 выше для каждого значения разбавления VPR, подлежащего использованию во время испытания двигателя.

30. Рассчитанные средние значения DF₂ сравниваются с результатами тарировки компетентной лаборатории. Если разница:

- 1) меньше или равна $\pm 10 \%$, используются значения DF₂ тарировки компетентной лаборатории;
 - 2) выше $\pm 10 \%$, значения DF₂ VPR повторно определяются по тарировке компетентной лабораторией.
-

ДОБАВЛЕНИЕ 8. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ ПОПРАВOK НА ПОТЕРИ нлТЧ В СИСТЕМЕ

Примечание 1. Изложенные в настоящем добавлении процедуры касаются определения поправочных коэффициентов на потери в системе отбора проб и измерения нелетучих твердых частиц (нлТЧ), за исключением термофоретической потери в коллекторном блоке, которая включена в сообщаемые данные согласно добавлению 7.

Примечание 2. В системе отбора проб и измерения нлТЧ необходимо использовать длинную, до 35 м, линию отбора проб и предусмотреть несколько компонентов отбора проб и измерения, что может привести к значительной потере частиц – порядка 50 % массы нлТЧ и 90 % числа нлТЧ. Потери частиц зависят от размеров и таким образом зависят от режима работы двигателя, конструкции камеры сгорания и возможно других факторов. Изложенные в настоящем добавлении процедуры позволяют оценить потери частиц.

Примечание 3. В настоящем добавлении используются данные и измерения, изложенные в добавлении 7 и дополнениях к нему. Условные обозначения и определения, которые не приведены в настоящем добавлении, определены в добавлении 7 и дополнениях к нему.

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. В системе отбора проб и измерения нлТЧ частицы оседают на стенках системы отбора проб под действием механизмов осаждения. Эти потери как зависят, так и не зависят от размеров. Независящая от размеров термофоретическая потеря в коллекторном блоке указана в ч.41 §10 добавления 7.

2. Общая потеря частиц в системе отбора проб и измерения нлТЧ, за исключением коллекторного блока, называется потерей в системе.

3. Необходимо принимать во внимание распределение нлТЧ по размерам, поскольку механизмы потери частиц зависят от размера частиц. Эти зависящие от размера частиц потери количественно выражаются в виде доли частиц данного размера, которые проникают через систему отбора проб и измерения.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, АКРОНИМЫ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

4. Определения. В тех случаях, когда в настоящем добавлении употребляются приведенные ниже термины, они имеют следующие значения:

Аэродинамический диаметр частицы. Диаметр сферической частицы с относительной плотностью, равной плотности единицы (1 г/см^3), которая имеет такую же скорость осаждения, как и искомая частица, также называемый "аэродинамический диаметр".

Диаметр электрической подвижности частицы. Диаметр сферической частицы, имеющий точно такую же подвижность в электрическом поле, как и искомая частица.

Доля проникновения. Отношение концентрации частиц ниже по потоку и выше по потоку от элемента системы отбора проб.

Компетентная лаборатория. Испытательная и тарировочная лаборатория, которая разрабатывает, внедряет и применяет систему качества, отвечающую масштабам ее деятельности, в соответствии со стандартом ИСО/IEC 17025:2005 (время от времени изменяемым) Международной организации по стандартизации или с эквивалентным стандартом и для которой предназначена и действует программа тарировки оборудования, с тем чтобы обеспечить отслеживаемость осуществляемых лабораторией измерений и тарировки до Международной системы единиц (СИ). Официальной аккредитации лаборатории по ИСО/IEC 17025:2005 не требуется.

Массовая концентрация частиц. Масса частиц на единицу объема пробы.

Массовый индекс эмиссии частиц. Масса частиц, выпускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

Нелетучие твердые частицы (нлТЧ). Испускаемые частицы, присутствующие в выходной плоскости выхлопного сопла газотурбинного двигателя, которые при нагревании до температуры $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ не испаряются

Потеря частиц. Потеря частиц во время прохождения через компонент системы отбора проб или измерения, или из-за характеристик приборов. Потеря в системе отбора проб и измерения имеет место из-за различных механизмов осаждения,

некоторые из которых зависят от размеров частиц.

Распределение частиц по размерам. Перечень значений математической функции, которая обозначает численную концентрацию частиц согласно их размерам.

Циклонный сепаратор. Отделение частиц более крупного чем установленный аэродинамический диаметр размера за счет вращательного и гравитационного эффекта. Указанный граничный аэродинамический диаметр соотносится с процентом частиц конкретного размера, проникающих через циклонный сепаратор.

Численная концентрация частиц. Число частиц на единицу объема пробы.

Численный индекс эмиссии частиц. Число частиц, испускаемых на единицу расходуемой массы топлива.

5. Акронимы

нлТЧ	Нелетучие твердые частицы (см. определение)
нлТЧmi	Прибор для измерения массы нелетучих твердых частиц
нлТЧni	Прибор для измерения числа нелетучих твердых частиц
ст. л/мин	Стандартные литры в минуту (литры в минуту при STP)
CPC	Конденсационный счетчик частиц
EEEP	Выходная плоскость выхлопного сопла двигателя
STP	Состояние прибора при стандартной температуре 0 °C и давлении 101,325 кПа
VPR	Уловитель летучих частиц

6. Условные обозначения

C_c	$1 + \frac{2\lambda}{Dm} \times (1,165 + 0,483 \times e^{-\frac{0,997Dm}{2\lambda}})$, безразмерный поправочный коэффициент Каннингэма на проскальзывание
DF_1	Коэффициент разбавления первой стадии
DF_2	Коэффициент разбавления второй стадии (VPR) согласно тарифовке
D	$\frac{k_B \times (273,15 + T_i) \times C_c}{3 \times \pi \times \mu \times Dm} \times 10^7$, коэффициент диффузии частиц, см ² /с
D_m	Диаметр частиц нЛТЧ означает диаметр электрической подвижности, за исключением циклонного сепаратора, в котором диаметр частиц является аэродинамическим диаметром, нм
D_{mg}	Геометрический средний диаметр распределения нЛТЧ по размерам, нм
δ	Сумма квадратов относительной разницы между измеренной и расчетной массовой и численной концентрациями нЛТЧ с поправкой на разбавление
EI_{mass}	Массовый индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери и состав топлива, в миллиграмм/кг топлива
EI_{num}	Численный индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на термофоретические потери и состав топлива, в число/кг топлива
$f_{ign}(D_m)$	Функция логарифмически нормального распределения с параметрами геометрического стандартного отклонения, σ_g , и геометрического среднего диаметра, D_{mg}
$f_N(D_m)$	Функция логарифмически нормального распределения числа частиц в
$EENEP ID_{ti}$	Внутренний диаметр i^{ro} отрезка линии отбора проб, мм
k_B	$1,3806 \times 10^{-16}$, постоянная Больцмана, (г·см ²)/(с ² ·К)
k_{SL_mass}	Поправочный коэффициент EI_{mass} на системную потерю без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке
k_{SL_num}	Поправочный коэффициент EI_{num} на системную потерю без поправки на термофоретическую потерю в коллекторном блоке
k_{thermo}	Поправочный коэффициент на термофоретическую потерю в коллекторном блоке, указанный в п. 6.2.1 добавления 7
$\lambda_{406,55}$	$67,3 \times 10^{-3} \times \left(\frac{273,15 + T_i}{296,15} \right) \times \left(\frac{101,325}{P_i} \right) \times \left(\frac{1}{T_i + 383,55} \right)$, средняя длина свободного пробега транспортирующего газа, нм

μ	Вязкость транспортирующего газа, г/см·с
$нлТЧ_{num_EP}$	Оценка численной концентрации нлТЧ в выходной плоскости выхлопного сопла двигателя без поправки на термофоретические потери в коллекторном блоке
$нлТЧ_{mass_STP}$	Разбавленная массовая концентрация нлТЧ при состоянии прибора STP, микрограмм/м ³
$нлТЧ_{num_STP}$	Разбавленная численная концентрация нлТЧ при состоянии прибора STP, число/см ³
$\eta_{mass}(D_m)$	Доля проникновения частиц через систему отбора проб и измерения в целом для нлТЧ _{mi} без термофоретических потерь в коллекторном блоке при электрической подвижности частиц размером D_m
$\eta_{num}(D_m)$	Доля проникновения частиц через систему отбора проб и измерения в целом для нлТЧ _{ni} без термофоретических потерь в коллекторном блоке при электрической подвижности частиц размером D_m
$\eta_i(D_m)$	Доля проникновения частиц для $i^{го}$ компонента системы отбора проб и измерения при электрической подвижности частиц размером D_m
$\eta_{bi}(D_m)$	Доля проникновения частиц через изгиб линии отбора проб для $i^{го}$ компонента системы отбора проб и измерения при электрической подвижности частиц размером D_m
P_i	Давление транспортирующего газа в $i^{ом}$ отрезке линии отбора
проб, кПА ρ	Принятая эффективная плотность нлТЧ, г/см ³
$\rho_{g\ as}$	$\frac{29 \times P_i}{8314 \times (273.15 + T_i)}$, плотность транспортирующего газа, г/см ³

σ_g	Принятое геометрическое стандартное отклонение логарифмически нормального распределения Q_i	Поток
	транспортирующего газа в i^{om} отрезке линии отбора проб, ст. л/мин	
Re	$\frac{2 \times \rho_{gas} \times Q_i}{3 \times \pi \times \mu \times ID_{ti}}$, число Рейнольдса транспортирующего газа	
$R_{MN}(D_m)$	Рассчитанное отношение оценки массовой концентрации нЛТЧ к оценке численной концентрации нЛТЧ	
T_i	Температура транспортирующего газа в i^{om} отрезке линии отбора проб, °С.	

§ 3. ТРЕБУЕМЫЕ ДАННЫЕ

7. Эмиссия нЛТЧ. Для расчета поправочных коэффициентов на потерю в системе необходимы следующие концентрации, как указано в добавлении 7:

- 1) массовая концентрация нЛТЧ: $nLTCh_{mass_STP}$;
- 2) численная концентрация нЛТЧ: $nLTCh_{num_STP}$.

8. Прочая информация. Для использования методики расчета требуется дополнительная информация, приведенная в дополнении D к добавлению 7.

§ 4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОПРАВОК НА ПОТЕРИ нЛТЧ В СИСТЕМЕ И ПОРЯДОК РАСЧЕТА

9. Общие сведения. *Примечание. Общая схема методики оценки поправочных коэффициентов на потери в системе приведена на рис. А8-1.*

10. Поправочные коэффициенты на потери в системе оцениваются на основе следующих допущений: нЛТЧ в ЕЕНЕР представлена постоянным значением эффективной плотности нЛТЧ, логарифмически нормальным распределением, фиксированным значением геометрического стандартного отклонения, отсутствием коагуляции, ограничивающей массовую и численную концентрацию нЛТЧ, как

указано в разделе по ограничениям метода расчета, а также минимальным совокупным граничным размером частиц в 10 нм.

11. В методике оценки поправок на потери в системе используется эффективная плотность частиц 1 г/см³.

12. В методике оценки поправок на потери в системе используется мономодальное логарифмически нормальное распределение с геометрическим стандартным отклонением 1,8.

13. В методике оценки поправок на потери в системе не учитывается уменьшение численной концентрации нлТЧ из-за коагуляции.

14. Численная концентрация нлТЧ в EENEP рассчитывается с помощью:

$$\frac{k_{SL_num} \times k_{thermo} \times DF1 \times DF2 \times}{nvPM_{num_STP}}$$

более 10⁸ частиц/см³, может иметь место коагуляция, о чем сообщается сертифицирующему полномочному органу.

Примечание 1. В методике оценки поправок на потери в системе не учитывается смещение проникновения. Это не считается существенным для систем измерения нлТЧ, отвечающим требованиям добавления 7.

Примечание 2. На рис. А8-2 показан итеративный метод расчета.

Только потери
массы нлТЧ в
системе

Потери массы и числа нлТЧ в
системе

Только потери числа
нлТЧ в системе

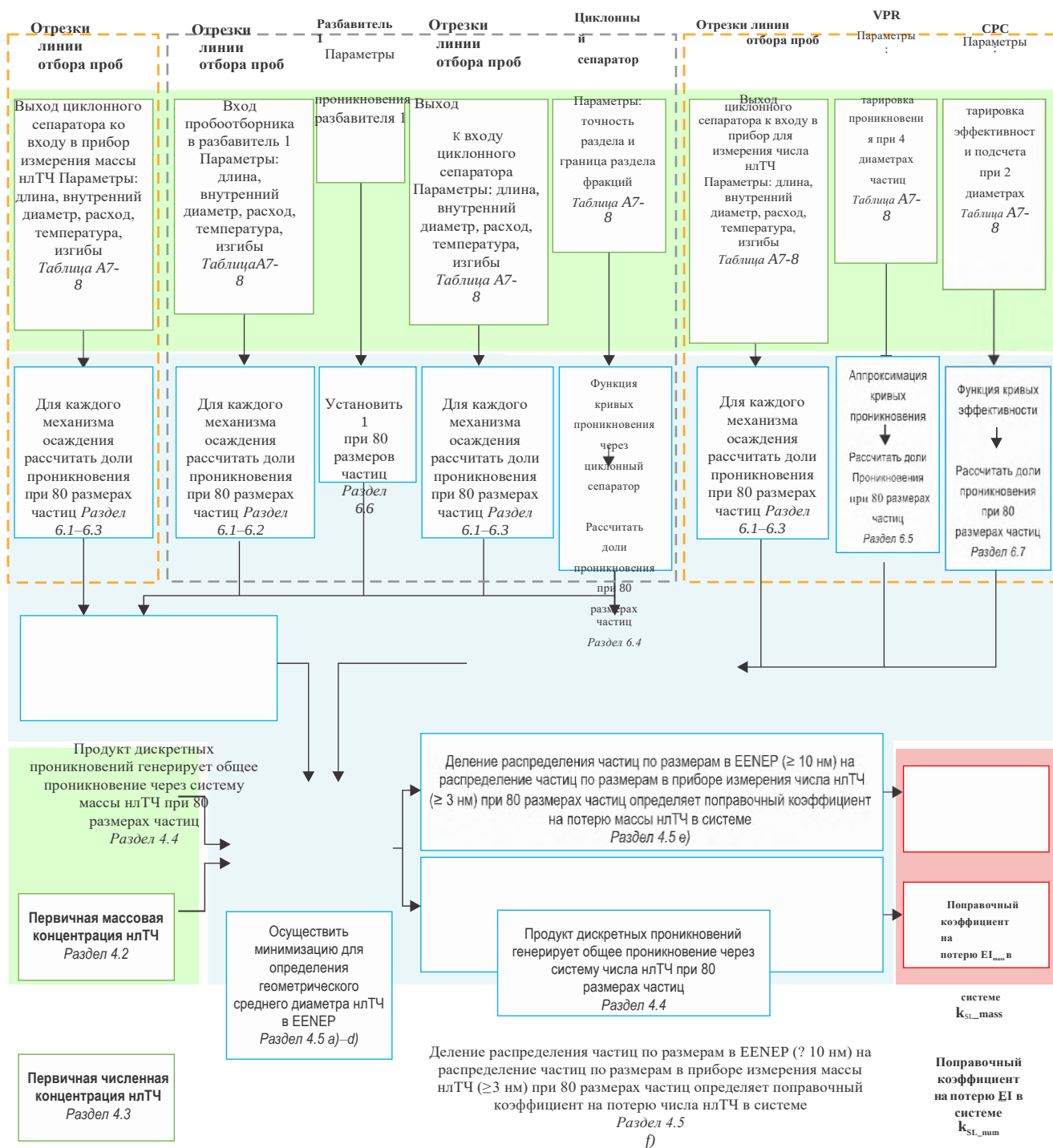


Рис. А8-1. Технологическая блок-схема методики оценки поправок на потерю нлТЧ в системе. В прямоугольниках зеленого цвета показаны входные параметры модели, в прямоугольниках голубого цвета показаны расчеты модели, а в прямоугольниках с красными контурами показан результат расчета поправочных коэффициентов на потери в системе.

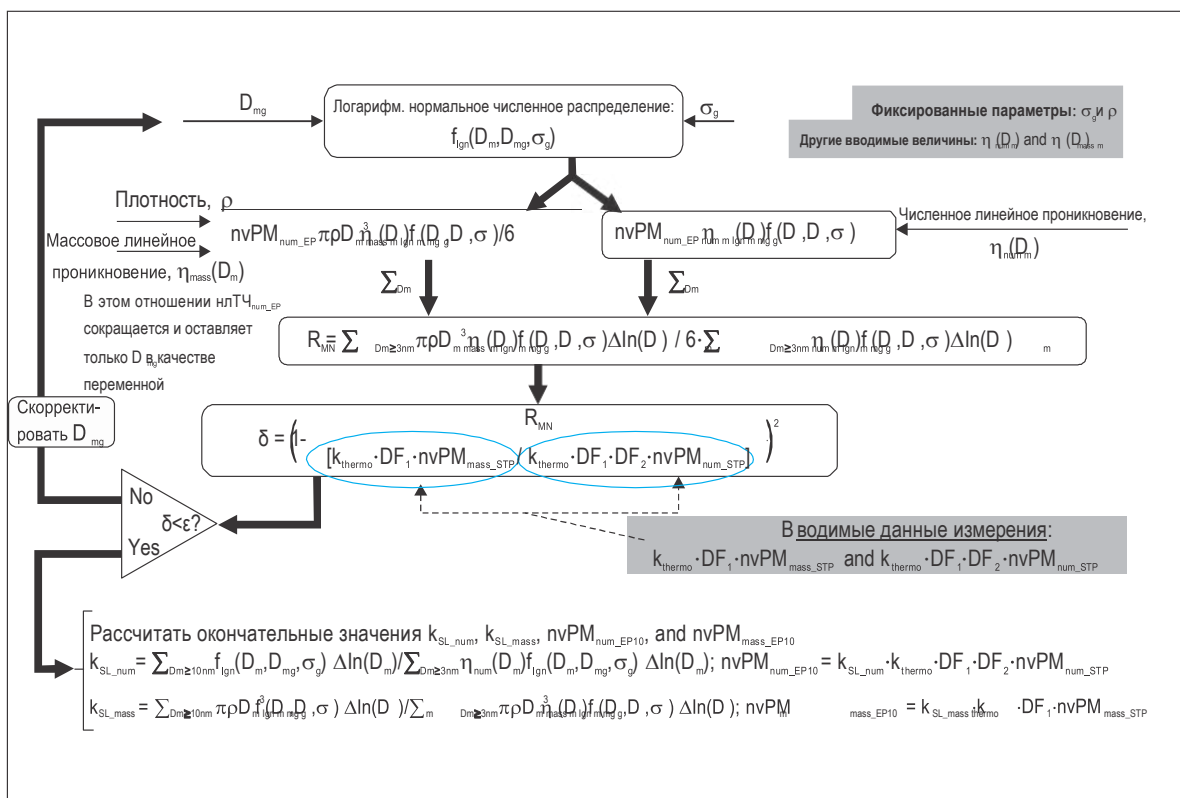


Рис. А8-2. Схема итеративного метода расчета для определения поправочных коэффициентов на потери в системе

15. Первичная массовая концентрация нлТЧ. Первичная массовая концентрация нлТЧ ($нлТЧ_{mass}$) рассчитывается с помощью следующего уравнения, приведенного в добавлении 7:

$$nvPM_{mass} = k_{thermo} \times DF_1 \times \frac{nvPM_{mass_STP}}{k_{thermo}}$$

16. Первичная численная концентрация нлТЧ. Первичная численная концентрация нлТЧ ($нлТЧ_{num}$) представляет собой число частиц на единицу объема пробы выхлопных газов двигателя с поправками на коэффициент первой стадии разбавления (DF_1) и второй стадии разбавления (DF_2), а также термофоретические потери частиц в коллекторном блоке. Она рассчитывается с использованием следующего уравнения:

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF1 \times DF2 \times nvPM_{num_STP}$$

17. Функции проникновения нлТЧ. Доля проникновения через систему отбора проб является продуктом функций индивидуального проникновения и эффективности подсчета. В таблице А8-1 приводятся требуемые функции проникновения нлТЧ и эффективности подсчета, которые рассчитываются с использованием методов, изложенных в §7.

18. Проникновение через систему отбора проб в отношении нлТЧ_{mi} для частицы диаметром D_m составляет:

$$\eta_{mass}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \dots \times \eta_{dil} \times \eta_{cyc}$$

19. Проникновение через систему отбора проб в отношении нлТЧ_{ni} для частицы диаметром D_m составляет:

$$\eta_{num}(D_m) = \eta_1 \times \eta_{b1} \times \eta_2 \times \eta_{b2} \times \eta_3 \times \eta_{b3} \times \dots \times \eta_{dil} \times \eta_{cyc} \times \eta_{VPR} \times \eta_{CPC}$$

20. Термофоретическое проникновение массы и числа нлТЧ через систему отбора проб независимо от размера частиц составляет:

$$\eta_{thermo} = \eta_{th1} \times \eta_{th2} \times \eta_{th3} \times \dots$$

Примечание. Термофоретическая потеря в коллекторном блоке, k_{thermo} , указана в ч.41 §10 добавления 7 и не включена в данные расчеты.

Таблица А8-1. Требуемые доли проникновения частиц через компоненты системы отбора проб и измерения нлТЧ

Условное обозначение	Описание функций транспортировки частиц в системе отбора проб и измерения нлТЧ
$\eta_i(D_m)$	Доля диффузионного проникновения частиц в i^{OM} отрезке системы отбора проб
$\eta_{bi}(\Theta_i)$	Доля проникновения из-за изгибов в i^{OM} отрезке системы отбора проб
η_{thi}	Доля проникновения из-за термофореза в i^{OM} отрезке системы отбора проб
$\eta_{dil}(D_m)$	Доля проникновения через разбавитель 1

$\eta_{\text{сyc}}(D_m)$	Доля проникновения через циклонный сепаратор
$\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	Доля проникновения через VPR
$\eta_{\text{CPC}}(D_m)$	Эффективность подсчета CPC

§ 5. Расчет поправочных коэффициентов на потерю в системе

21. Поправочные коэффициенты на потери в системе по массе нЛТЧ (k_{SL_mass}) и числу нЛТЧ (k_{SL_num}) рассчитываются с использованием итеративного метода:

- 1) Рассчитать первоначальное значение геометрического среднего диаметра с помощью уравнения:

$$D_{mg} = \sqrt[3]{\frac{6 \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}{\pi \times \rho \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}}} \times 10^3.$$

Примечание. Рассчитанное с помощью проведенного выше уравнения значение арифметического среднего диаметра дает первоначальное значение геометрического среднего диаметра (D_{mg}) для итеративного метода. При использовании единиц, указанных для вводимых данных, рассчитанный диаметр частиц будет выражаться в нм.

- 2) Используя значение D_{mg} из этапа а), рассчитать предполагаемое отношение массы нЛТЧ к числу нЛТЧ ($R_{MN}(D_{mg})$) с помощью следующего уравнения:

$$R_{MN}(D_{mg}) = \frac{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{\pi \rho D_m^3}{6} e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D_m)},$$

где экспоненциальные функции образуются из функции логарифмически нормального распределения,

$$f_{\ln}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2}$$

$\Delta \ln(D) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$ является шириной размерного накопителя в натуральном логарифме; e – число Эйлера, а n – число размерных накопителей частиц на десятичную основу.

- 3) Определить квадрат относительной разницы, $\square$, между измеренным и расчетным отношением массы к числу нЛТЧ, используя:

$$\delta = \left\{ 1 - \frac{RMN(D_{mg}) \times 10^{-9}}{[(k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}) / (k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP})]} \right\}^2$$

- 4) Повторить этапы б) и с), изменяя D_{mg} , пока $\square$ не уменьшится до менее 1×10^{-9} . Для расчета поправочных коэффициентов на потери в системе используется D_{mg} , связанное с этим минимизированным значением $\square$.
- 5) Рассчитать поправочный коэффициент на потерю массы нЛТЧ в системе с помощью уравнения:

$$k_{SL_mass} = \frac{\sum_{D_m > 10nm}^{1000nm} \frac{1}{D^3} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{1}{D^3} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D)}^m}.$$

Умножение EI_{num} на k_{SL_num} дает индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на потери в системе.

- 6) Рассчитать поправочный коэффициент на потерю числа нЛТЧ в системе с помощью уравнения:

$$k_{SL_num} = \frac{\sum_{D_m > 10nm}^{1000nm} \frac{1}{e} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{num}(D_m) \times \frac{1}{e} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2} \times \Delta \ln(D)}^m}.$$

Умножение EI_{num} на k_{SL_num} дает индекс эмиссии нЛТЧ с поправкой на потери в системе.

- 7) В этих расчетах используются как минимум 80 дискретных размеров в диапазоне размеров частиц от 3 нм до 1000 нм или минимальное число накопителей, которые дадут эквивалентные результаты, как это согласовано с сертифицирующим полномочным органом.

Примечание 1. Для 80 дискретных размеров число размерных накопителей на десятичную основу, n , составляет 32 (см. определение $\Delta \ln(D_m)$ выше).

Примечание 2. Суммирование для вычисления поправочных коэффициентов на потерю в системе начинаются при 10 нм в числителе и 3 нм в знаменателе.

Примечание 3. Указанные расчеты можно выполнить с помощью имеющихся в продаже компьютерных программ.

§ 6. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Примечание 1. Изложенный в §4 добавления 8 метод расчета поправочного коэффициента на потери в системе продемонстрировал получение приемлемых результатов в широком диапазоне массовых и численных концентраций нЛТЧ, наблюдаемых в эмиссии нЛТЧ авиационных газотурбинных двигателей. Однако выявлены определенные диапазоны массовой и численной концентрации нЛТЧ, в которых для получения качественных результатов вводимые в анализ данные могут быть недостаточно достоверными для метода расчета.

Примечание 2. Любые отклонения от допущений, используемых в методе расчета согласно требованиям ч.11 §4 настоящего добавления, могут привести к варьированию в поправочных коэффициентах на потери в системе. Аналогичным образом, различия в данных, представляемых для метода расчета, приведет к варьированию в поправочных коэффициентах на потери в системе. Различия в данных могут иметь место из-за распределения частиц по размерам, системы отбора проб или приборов. Кроме того, в результате продуктов, образующихся в системе отбора проб и измерения, например, возможное отделение частиц от стенок при низких концентрациях, может быть получен недостоверный поправочный коэффициент на потерю в системе. Ограничения метода являются следствием разброса в вводимых данных, а не самого метода расчета.

22. Применимые диапазоны массовой концентрации

Примечание. В тех случаях, когда необработанные массовые концентрации нЛТЧ в нЛТЧ_{mi} (без поправки на разбавление) находятся ниже 3 микрограмм/м³, при использовании этого метода для оценки поправочных коэффициентов на потери в системе следует проявлять осторожность ввиду возможных неопределенностей в части установления массовой концентрации нЛТЧ при таких низких значениях.

23. Если необработанные массовые концентрации в нЛТЧ_{mi} ниже 3 микрограмм/м³, заявитель подтверждает, что прогнозируемый D_{mg} в EENEP находится в пределах применимого диапазона, указанного в ч.28 §6.

24. Рекомендация. *В тех случаях, когда расчеты согласно настоящему добавлению или другим эквивалентным методам не дают обоснованных значений, как указано в ч.28 §6 (например, когда по методике расчета потерь в системе получены геометрические средние диаметры в EENEP менее 7 нм или более 100 нм), или когда методика расчета потерь в системе не обеспечивает сходимости, следует использовать, при условии утверждения сертифицирующим полномочным органом, альтернативные средства оценки поправочных коэффициентов на потери в системе для эксплуатационных режимов LTO.*

Примечание. В настоящее время нет каких-либо известных ограничений относительно высоких массовых концентраций нЛТЧ, если установлено, что показания массовой концентрации нЛТЧ находятся в диапазоне PM_{mi}.

25. Применимые диапазоны численной концентрации. Если установлено, что измеренная в нЛТЧ_{ni} численная концентрация нЛТЧ с поправкой на разбавление (DF1 и DF2) и термофоретические потери в коллекторном блоке меньше или равна измеренной численной концентрации в окружающем воздухе⁴, заявитель подтверждает, что прогнозируемый D_{mg} в EENEP находится в применимом диапазоне, указанном в ч.28 §6.

26. Рекомендация. *В тех случаях, когда расчеты согласно настоящему добавлению или другим эквивалентным методам не дают обоснованных значений, как указано в ч.28 §6 (например, когда по методике расчета потерь в системе получены геометрические средние диаметры в EENEP менее 7 нм или более 100 нм), или когда методика расчета потерь в системе не обеспечивает сходимости, следует*

⁴ См. дополнение Е к добавлению 7.

использовать, при условии утверждения сертифицирующим полномочным органом, альтернативные средства оценки поправочных коэффициентов на потери в системе для эксплуатационных режимов ЛТО.

Примечание. В отношении нЛТЧ_{пн} в настоящее время нет известных ограничений по низким численным концентрациям нЛТЧ. По данным изготовителей СРС LOD СРС составляет около 1 частицы/см³. Измерения высокой численной концентрации ограничиваются требованием к СРС оставаться в режиме однократного подсчета. Если численная концентрация нЛТЧ в ЕЕНЕР выше 10⁸ частиц/см³, может произойти коагуляция частиц. Коагуляция не учитывается в методе расчета потерь в системе.

27. Применимые прогнозируемые геометрические средние диаметры

Примечание. Предполагается, что геометрический средний диаметр нЛТЧ в ЕЕНЕР авиационных газотурбинных двигателей находится в диапазоне 7–100 нм.

28. Если согласно методу расчета потерь, в системе прогнозируется, что геометрический средний диаметр в ЕЕНЕР составляет менее 7 нм или более 100 нм и/или если согласно методу расчета потерь, в системе прогнозируется, что геометрическим средним диаметром в ЕЕНЕР не обеспечивается соблюдение критерия сходимости (δ больше чем 1×10^{-9}), результаты по k_{SL_mass} и k_{SL_num} пересматриваются с участием сертифицирующего полномочного органа.

29. Рекомендация. В тех случаях, когда расчеты согласно настоящему добавлению или другим эквивалентным методам не дают обоснованных значений (например, когда по методике расчета потерь в системе получены геометрические средние диаметры в ЕЕНЕР менее 7 нм или более 100 нм), или когда методика расчета потерь в системе не обеспечивает сходимости, следует использовать, при условии утверждения сертифицирующим полномочным органом, альтернативные средства оценки поправочных коэффициентов на потери в системе для эксплуатационных режимов ЛТО.

Примечание. Рассчитанные геометрические средние диаметры в ЕЕНЕР <20 нм приведут к недооценке коэффициентов потери в системе из-за минимального

совокупного граничного размера частиц. Такая недооценка может быть значительной для k_{SL_num} , если D_{mg} в ЕЕНЕР составляет ≤ 10 нм.

§ 7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ОТДЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И ИЗМЕРЕНИЯ нЛТЧ

30. С тем, чтобы оценить эффективность транспортировки нЛТЧ в отношении частиц в определенном диапазоне размеров, доли проникновения рассчитываются для каждого компонента системы отбора проб и измерения нЛТЧ для как минимум 80 дискретных размеров частиц или минимального числа дискретных размеров частиц, которые дадут эквивалентный результат в диапазоне от 3 нм до 1000 нм, как это согласовано с сертифицирующим полномочным органом.

Примечание 1. При расчете непрерывных функций для оценки долей проникновения эти функции не должны опускаться ниже нуля.

Примечание 2. Параметры системы отбора проб и измерения нЛТЧ, требуемые для проведения расчетов долей проникновения в настоящем добавлении, содержатся в дополнении D к добавлению 7.

31. Доли диффузионного проникновения частиц в отрезках. Значения проникновения, $\eta_i(D_m)$, для диффузионных потерь в отрезках системы отбора проб при электрической подвижности частиц размером D_m рассчитываются с помощью следующего выражения:

$$\eta_i(D_m) = e^{-\frac{\pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{d,diff}}{Q_i}},$$

где:

L_i — длина $i^{го}$ отрезка линии отбора проб, м;

$V_{d,diff}$ — $0,0118 \times Re^{\frac{1}{7}} \times Sc^{\frac{1}{3}} \times D/ID_{ti}$, скорость осаждения, см/с;

Sc — $\frac{\mu}{\rho_{gas} D} \times 10^3$, число Шмидта транспортирующего газа;

ID_{ti} — внутренний диаметр $i^{го}$ отрезка линии отбора проб, мм;

Q_i — поток транспортирующего газа в $i^{ом}$ отрезке линии отбора проб, ст.л/мин.

32. Доли проникновения частиц в изгибах отрезков. Доли проникновения в изгибах различаются по турбулентному потоку, Re больше чем 5000, и по ламинарному потоку, Re меньше чем или равно 5000, где Re является числом Рейнольдса. По ламинарному потоку (включая переходный режим) проникновение из-за изгибов в транспортирующих линиях отбора проб по каждому отрезку при электрической подвижности частиц диаметром D_m рассчитывается как:

$$\eta_{bi}(D_m) = 1 - 0,01745 \times Stk \times \theta_{bi}.$$

По турбулентному потоку проникновение из-за изгибов в транспортирующих линиях отбора проб рассчитывается как:

$$\eta_{bi}(D_m) = e^{-0,04927 \times Stk \times \theta_{bi}},$$

где:

$$Stk = \frac{Q^i \times C_c \times \rho \times D^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_i}, \text{ безразмерное число Стокса;}$$

θ_{bi} – общий угол изгибов в i^{om} отрезке линии отбора проб, градусы.

33. Термофоретические потери в отрезках. Температурные градиенты, имеющие место вследствие того, что температуры на стенках линии отбора проб ниже, чем температуры газа, вызывают дополнительное осаждение частиц, термофоретические потери на поверхностях линии отбора проб. Термофоретические потери, за исключением потерь в коллекторном блоке, рассчитываются с помощью:

$$\eta_{thi} = \left[\frac{T_{linei} + 273,15}{T_{gasi} + 273,15} \right]^{Pr \times K_{th}} \times \left[1 + \left(\frac{T_{gasi} + 273,15}{T_{linei} + 273,15} - 1 \right) \times e^{-\frac{\pi \times ID_i \times h_{gas} \times L_i}{\rho_{gas} \times Q_i \times C_p}} \right]^{Pr \times K_{th}},$$

где:

T_{gasi} – температура пробного газа в °C;

T_{linei} – температура стенки линии отбора проб в °C;

- h_{gas} – коэффициент конвективной теплоотдачи транспортирующего газа ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$);
 C_p – удельная теплоемкость транспортирующего газа при постоянном давлении ($\text{J}/(\text{кг K})$);
 Pr – число Прандтля;
 K_{th} – $\frac{2 \times C_s \times C_c}{1 + 3 \times C_m \times K_n} \left[2 + \frac{1}{(k_{\text{gas}}/k_p) + C \times K_n} \right]^{-1}$, термофоретический коэффициент;
 C_s – 1,17, коэффициент проскальзывания;
 C_m – 1,14, количество движения сажи;
 C_t – 2,18, термический коэффициент;
 k_{gas} – теплопроводность транспортирующего газа ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$);
 K_n – $2\lambda/D_m$, число Кнудсена;
 k_p – $0,2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, теплопроводность частиц.

Примечание. Как указано в ч.41 §10 добавления 7, учитываются термофоретические потери в коллекторном блоке и VPR. В системе, отвечающей техническим требованиям в дополнении 7, используются приборы и отрезки, которые в настоящее время не нуждаются во внесении поправок на термофоретические потери и поэтому $\square_{\text{thi}}$ фактически будет равна 1,0.

34. Функция проникновения частиц через циклонный сепаратор. Функция проникновения частиц через циклонный сепаратор оценивается с помощью следующего выражения:

$$\eta_{\text{cyc}}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^D \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{\text{cyc}})^2}{2\sigma_{\text{cyc}}^2}}}{x\sigma_{\text{cyc}}\sqrt{2\pi}} dx,$$

где:

$$\mu_{\text{cyc}} = \ln(D_{50}) \text{ и } \sigma_{\text{cyc}} = \ln(D_{16}/D_{84})^{0,5}.$$

Примечание 1. Современные компьютерные приложения для обработки электронных таблиц содержат программу совокупного логарифмически нормального распределения, встроенную в библиотеку функций, которую можно использовать для генерирования функций проникновения частиц через циклонный сепаратор.

Примечание 2. Применительно к большинству газотурбинных двигателей D_m будет меньше чем 300 нм. В таких случаях функция проникновения частиц через циклонный сепаратор будет фактически равна 1,0.

35. Функция проникновения частиц через VPR.

Примечание. Вместо функции, определяемой по указанному ниже методу расчета, можно использовать гладкую функцию, предоставляемую тарифовочной лабораторией, которая имеет результаты степени аппроксимации (R^2 больше чем 0,95) для четырех тарифовочных точек проникновения частиц через VPR.

36. Потери частиц в VPR возникают из-за диффузии и термофореза. Термофоретический коэффициент, η_{VPRth} , является постоянной величиной. Коэффициент диффузии, η_{VPRdi} , определяется по стандартным потерям частиц из-за диффузии в ламинарном потоке. Общая функция проникновения через VPR оценивается с помощью следующего выражения:

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5,5 \times \psi^3 + 3,77 \times \psi^2 & \psi < 0,007 \\ 0,819 \times e^{-11,5\psi} + 0,0975 \times e^{-70,1\psi} + 0,0325 \times e^{-179\psi} & \psi > 0,007 \end{cases}$$

где: $\frac{D \times L_{VPR} \times 100}{Q_{VPR}}$, параметр осаждения;

ψ

L_{VPR} – рабочая длина VPR, м;

Q_{VPR} – поток транспортирующего газа в VPR, ст. л/мин;

T_{VPR} – температура VPR, °C;

η_{VPRth} – термофоретическая потеря VPR.

37. Функция проникновения частиц через VPR (η_{VPR}) аппроксимируется относительно четырех измеренных точек проникновения путем изменения рабочей длины (L_{VPR}) и коэффициента термофоретической потери (η_{VPRth}) VPR. Аппроксимация рассчитывается путем минимизации δ_{VPR} , относительная сумма квадратов разности между измеренным проникновением частиц через VPR, $\eta_{VPRmeas}$, и рассчитанной функцией проникновения частиц.

$$\delta_{VPR} = \sqrt{\sum_{D_m} \left(\frac{\eta_{VPRmeas}(D_m) - \eta_{VPR}(D_m)}{\eta_{VPRmeas}(D_m)} \right)^2}$$

38. Для обеспечения достаточной степени аппроксимации с измеренными величинами проникновения частиц указано значение δ_{VPR} меньше чем 0,08.

39. Функция проникновения частиц через разбавитель 1. Для всех размеров частиц используется постоянная величина проникновения через разбавитель 1, $\eta_{dil}(D_m) = 1$.

40. Эффективность подсчета СРС. Непрерывная функция эффективности подсчета СРС определяется с использованием двух значений эффективности подсчета СРС, установленных с помощью двухпараметрической сигмоидальной функции по следующей формуле:

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \times \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

где:

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}},$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1) D_{10} + (\alpha_{10} + 1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}},$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln(2)}, \quad i = 10 \text{ нм или } 15 \text{ нм};$$

$$D_{10} = 10 \text{ нм};$$

$$D_{15} = 15 \text{ нм};$$

$\eta_{CPC,10}$ – эффективность подсчета при 10 нм;

$\eta_{CPC,15}$ – эффективность подсчета при 15 нм.