
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации»

ЗАО «Центр экологической безопасности гражданской авиации»

СОГЛАСОВАНО
Министерством транспорта
Российской Федерации
27 октября 2008 г.

Методика расчета выбросов загрязняющих веществ двигателями воздушных судов гражданской авиации

Москва, 2007 г.

РАЗРАБОТАНО:

ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации»

Картышев О.А. (научный руководитель)

ЗАО «Центр экологической безопасности гражданской авиации»

Медведев В.В., Запорожец А.И.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные термины и определения
 2. Общие положения
 3. Перечень загрязняющих веществ
 4. Основные расчетные соотношения и пояснения
 - 4.1. Маршевые двигатели
 - 4.2. Вспомогательные силовые установки (ВСУ)
 5. Последовательность расчета выбросов загрязняющих веществ
 - 5.1. Простой метод расчета для маршевых двигателей
 - 5.2. Детальный метод расчета для маршевых двигателей
 - 5.3. Простой метод расчета для ВСУ
 - 5.4. Детальный метод расчета для ВСУ
 6. Оценка погрешности выполненных расчетов
 7. Список использованных источников
- Приложение № 1 Эмиссионные характеристики некоторых отечественных авиадвигателей
- Приложение № 2 Пример расчета выбросов загрязняющих веществ
1. Исходные данные
 2. Расчет выбросов ЗВ за полет
 3. Сравнение результатов расчета по простой и детальной методикам
- Приложение № 3 Данные по выбросам загрязняющих веществ отечественных авиадвигателей и ВСУ

1. Основные термины и определения

1.1. Двигатель - маршевый газотурбинный двигатель тягой больше 26,7 кН, установленный на воздушном судне гражданской авиации.

1.2. Относительная тяга $\bar{R} = R/R_{\text{взл}}$ - отношение тяги двигателя на данном режиме к взлетной тяге. Величина \bar{R} характеризует режим работы двигателя.

1.3. Стандартные атмосферные условия - САУ - атмосферные условия на уровне моря, характеризующиеся следующими значениями давления и температуры $p_0 = 101325 \text{ Па}$ (760 мм рт. ст.), $T_0 = 288 \text{ К}$ (+15 °С).

1.4. Стандартный взлетно-посадочный цикл ИКАО (ВПЦ) - цикл, который включает в себя все операции воздушного судна (ВС) с момента запуска двигателей до набора высоты 915 метров, а также с момента захода на посадку с высоты 915 метров до остановки двигателя после посадки самолета.

1.5. Загрязняющее вещество (ЗВ) - вещество, оказывающее негативное влияние на окружающую среду.

1.6. Валовой выброс ЗВ - масса загрязняющего вещества, поступившая в атмосферу за определенный (отчетный) период времени.

1.7. Индекс эмиссии EI - отношение количества граммов загрязняющего вещества на килограмм сгоревшего топлива (г/кг). Индексы эмиссии EI_j определяются предприятием-разработчиком в процессе стендовых испытаний и являются характеристикой двигателя.

1.8. Контрольный (нормируемый) параметр эмиссии - уровень эмиссии, определяемый как отношение $M_j/R_{\text{взл}}$, где M_j - масса загрязняющего вещества в граммах, выделившегося за стандартный взлетно-посадочный цикл (ВПЦ), $R_{\text{взл}}$ - взлетная тяга двигателя в килоньютонах (кН).

1.9. Число дымности (SN) - нормируемый параметр эмиссии твердых частиц (сажи), определяемый по результатам сравнения отражательной способности загрязненного и чистого фильтров.

1.10. Несгоревшие углеводороды (СН) - смесь содержащихся в пробе газа углеводородных соединений всех классов и молекулярных весов.

1.11. Окислы азота (NO_x) - смесь окиси и двуокиси азота, содержащихся в пробе газа.

1.12. Окись углерода (СО) - загрязняющее вещество, образующееся в результате неполного сгорания топлива.

1.13. Двуокись серы (SO_2) - загрязняющее вещество, образующееся в результате реакции окисления серы, содержащейся в топливе.

2. Общие положения

2.1. Настоящая методика разработана с целью создания единой методической основы по определению количества выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) маршевых газотурбинных двигателей во всех условиях эксплуатации ВС гражданской авиации (ГА).

Методика разработана в соответствии с законодательством Российской Федерации [1 - 3] на базе отечественных методик [4 - 6], гармонизирована с международными методами расчета [7 - 10, 19]. "С выходом настоящей Методики утрачивает силу «Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу двигателями основных типов воздушных судов гражданской авиации» [5].

2.2. Основные задачи методики:

- расчет суммарных выбросов ЗВ двигателями в течение стандартного или реального взлетно-посадочного цикла;
 - определение выбросов ЗВ маршевыми газотурбинными двигателями на высотах крейсерского полета;
 - количественная оценка выбросов парниковых газов;
 - определение выбросов ЗВ, разрушающих озоновый слой;
 - расчет и сравнительная оценка выбросов ЗВ двигателями при эксплуатации смешанного парка ВС в различных аэропортах, осуществляющих внутренние или международные перевозки с целью обмена квотами на выбросы загрязняющих веществ.
-

2.3. Основные свойства методики

- достаточно большая универсальность, объективность и точность расчетных оценок выбросов ЗВ двигателями ВС;
- высокая степень гармонизации с действующими и перспективными методами оценок, нормами ИКАО по эмиссии, а также другими существующими методиками;
- ясность алгоритма, удобство использования программного продукта персоналом авиакомпаний, аэропортов и других пользователей;
- возможность объективной проверки природоохранными и другими заинтересованными организациями результатов расчета выбросов ЗВ с целью определения размеров платы за загрязнение атмосферного воздуха.

2.4. Методика определяет порядок расчета выбросов загрязняющих веществ на основе удельных показателей эмиссии (таких как индексы эмиссии, уровни эмиссии) авиадвигателей и их эксплуатационных характеристик с учетом наружных атмосферных условий.

2.5. Методика распространяется на маршевые газотурбинные двигатели тягой больше 26,7 кН, установленные на воздушных судах гражданской авиации, что соответствует национальным [6] и международным требованиям [11]. С учетом результатов и выводов конгресса ИКАО в феврале 2007 г. методика предусматривает учет выбросов ЗВ вспомогательными силовыми установками (ВСУ) [20].

2.6. Рассматриваются две зоны влияния эмиссии двигателей ВС на атмосферу - до высоты 915 м и на основном (крейсерском) участке полета по маршруту. Распределение на зоны влияния вызвано разницей последствий воздействия эмиссии ЗВ. Результаты расчета количества выбросов ЗВ приводятся раздельно для каждой из отмеченных зон влияния на атмосферу.

2.7. Методика предусматривает два различных по уровням сложности и точности способа расчета количества выбросов ЗВ двигателями, каждый из которых является полноценным и обладает необходимой представительностью. Выбор и использование простого или детального метода расчета зависит от задач пользователя и имеющихся источников исходных данных для расчета.

2.7.1. Простой метод позволяет выполнить приближенную оценку количества выбросов ЗВ. Метод основан на использовании стандартного ВПЦ и упрощенных соотношений. При этом при расчете количества выбросов загрязняющих веществ на высотах выше 915 метров принятым допущением является использование данных номинального режима работы двигателя.

2.7.2. Детальный метод расчета ориентирован на получение наиболее достоверных результатов по выбросам ЗВ на всех этапах эксплуатации двигателей. Он предусматривает использование данных средств объективного контроля полета. При этом в расчетах количеств выбросов загрязняющих веществ на высотах более 915 метров необходимым допущением является учет данных режимов работы двигателя на основном (крейсерском) участке полета.

2.8. Действующие нормы ИКАО [11] не предусматривают учет выбросов ЗВ от вспомогательных силовых установок. Но ИКАО проводит определенную работу в данном направлении [20], что дает основания для выполнения подобных работ и в странах - членах ИКАО.

2.9. В ряде конкретных условий авиатранспортного производства ВСУ могут работать на перроне весьма продолжительное время, иногда даже большее, чем время стандартного ВПЦ основных силовых установок. Поэтому необходимо осуществлять учет выбросов ЗВ и от данного типа силовых установок. Так же как и для основного типа силовых установок, для ВСУ предусматривается использование простого и детального метода расчета.

2.9.1. Простой метод позволяет выполнить приближенную оценку количества выбросов ЗВ от ВСУ. Метод основан на использовании общей информации об эмиссионных данных ВСУ и среднего времени наработки в условиях конкретного аэропорта.

2.9.2. Детальный метод расчета ориентирован на получение наиболее достоверных результатов по выбросам ЗВ на всех режимах эксплуатации ВСУ. Он предусматривает использование как данных средств объективного контроля времени наработки, так и детальных эмиссионных характеристик ВСУ по режимам работы.

3. Перечень загрязняющих веществ

- 3.1. Продукты полного сгорания топлива:
- двуокись углерода CO_2
 - водяные пары H_2O
 - оксиды серы SO_x
- 3.2. В перечень нормируемых ИКАО загрязняющих атмосферу веществ, характеризующих экологическое совершенство двигателя, входят:
- окись углерода CO ;
 - несгоревшие углеводороды CH ;
 - оксиды азота NO_x (NO , NO_2);
 - дым (твердые частицы, или сажа) SN
- 3.3. В Приложении «А» к «Киотскому Протоколу» указана группа «парниковых» газов:
- двуокись углерода CO_2 ;
 - метан CH_4 ;
 - закись азота N_2O ;
 - гидрофторуглероды (ГФУ);
 - перфторуглероды (ПФУ);
 - гексафторид серы SF_6

Такие соединения как ГФУ, ПФУ, SF_6 в выхлопных газах авиационных двигателей отсутствуют. Отсутствует и закись азота N_2O ввиду того, что это соединение термически не стабильно, и при рабочих температурах в камере сгорания оно полностью разлагается. Метан CH_4 , наряду с более сложными углеводородными соединениями, является частью несгоревших углеводородов CH . Таким образом, из списка «парниковых» газов подлежат определению массы выбросов только метана CH_4 и двуокиси углерода CO_2 , которые содержатся в выхлопных газах авиационных двигателей.

4. Основные расчетные соотношения и пояснения

4.1. Маршевые двигатели

4.1.1. В целях единого подхода к нормированию выбросов ЗВ, ИКАО было введено понятие стандартного ВПЦ, который включает в себя все операции ВС с момента запуска двигателей до набора высоты 915 метров, а также с момента захода на посадку с высоты 915 метров до остановки двигателя после посадки самолета [11]. Параметры взлетно-посадочного цикла ИКАО приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Параметры взлетно-посадочного цикла ИКАО

Этап ВПЦ	Относительная тяга двигателя, %	Длительность этапа ВПЦ, мин
Взлет	100	0,7
Набор высоты 900 м	85	2,2
Снижение и заход на посадку с высоты 900	30	4,0

Этап ВПЦ	Относительная тяга двигателя, %	Длительность этапа ВПЦ, мин
М Руление (режим земного малого газа)	7	26,0

Значения относительной тяги двигателей на этапах (режимах работы) являются среднестатистическими для мирового парка ВС гражданской авиации, а значения длительности этапов ВПЦ сориентированы на крупные международные аэропорты.

4.1.2. Операция опробования двигателей в стационарных наземных условиях является обязательной технической процедурой после выполнения ремонтных работ или работ по регламентным формам технического обслуживания и выполняется в соответствии с графиком (программой опробования). Если нормативными документами разрешена сокращенная процедура опробования двигателя, то для расчета выбросов ЗВ используется фактическое время наработки по режимам.

4.1.3. Контрольный параметр эмиссии $M_j/R_{взл}$, определенный ИКАО для ВПЦ, может быть использован и для других этапов полета.

Зная индекс эмиссии и время работы одного двигателя, можно вычислить массу выбросов ЗВ данного типа. В частности, для ВПЦ:

$$M_j = \sum_i EI_{j,i} G_{Ti} \tau_i, \quad (1)$$

где G_{Ti} - расход топлива, кг/с, а τ_i - время работы на i -ом этапе стандартного цикла, сек. Величина G_{Ti} определяется с использованием дроссельных характеристик двигателя:

$$G_{Ti} = \frac{C_{уд} R_i}{3600}. \quad (2)$$

Разделив обе части выражения для M_j на $R_{взл}$, получим соотношение для контрольного параметра эмиссии:

$$\frac{M_j}{R_{взл}} = \frac{1}{3600} \sum_i EI_{j,i} C_{уд} \bar{R}_i \tau_i, \quad (3)$$

где $C_{уд}$ - удельный расход топлива на i -ом этапе ВПЦ, $\bar{R}_i = R_i/R_{взл}$ - относительная тяга на i -ом этапе.

Выражение (3) позволяет учесть изменение параметров эмиссии в эксплуатации двигателя, так как с увеличением наработки двигателя происходит ухудшение КПД его узлов, что в итоге приводит к увеличению удельного расхода топлива.

4.1.4. Эмиссионные характеристики двигателя зависят от наружных условий. Нормами ИКАО предусмотрен учет отклонений фактической температуры и давления наружного воздуха на входе в двигатель от стандартных атмосферных условий (САУ) на уровне моря. При расчете индексов эмиссии ЗВ на всех режимах работы двигателя в течение ВПЦ вносятся соответствующие поправки с помощью коэффициента K_j [11]:

$$EI_{j \text{ пр}} = K_j EI_j, \quad (4)$$

где $EI_{j \text{ пр}}$ - приведенный индекс эмиссии j -го загрязняющего вещества, K_j - коэффициент приведения j -го загрязняющего вещества к САУ.

Общее выражение для K_j :

$$K_j = \left(\frac{P_{КСАУ}}{P_K} \right)^a \cdot \left(\frac{g_{КСАУ}}{g_T} \right)^e \cdot \text{EXP} \left(\frac{|T_{КСАУ} - T_K|}{C} \right) \cdot \text{EXP}(d \cdot h - 0.00634) \quad (5)$$

где $p_{КСАУ}$, $T_{КСАУ}$, $g_{КСАУ}$ - соответственно давление, температура и относительный расход топлива в камере сгорания при САУ, p_K , T_K , g_T - аналогичные параметры, соответствующие конкретным атмосферным условиям, h - влажность окружающего воздуха, a , b , c , d , e - расчетные постоянные, которые могут быть различными для каждого загрязнителя и каждого типа двигателя.

4.1.5. Плотность ρ_{v0} твердых частиц в струе выхлопных газов авиадвигателей, приведенная к весовой характеристике (кг) за стандартный цикл ВПЦ, обозначенная через $M_{тч}$, может быть определена по графику (рис. 4.1) зависимости массовой концентрации сажи от числа дымности SN [15].

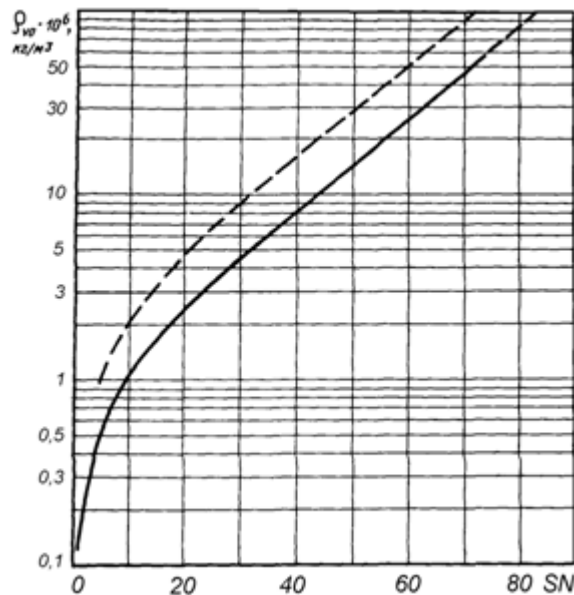


Рис. 4.1. Влияние числа дымности SN на массовую концентрацию сажи [15]
 - - - - суммарная концентрация частиц сажи; ——— - концентрация частиц сажи $ds < 300$ нм

Нормативное число дымности определяется из соотношения [11]:

$$SN = 83,6 (R_{взл})^{-0,274},$$

или выбирается величина $SN = 50$, в зависимости от того, какое из этих значений меньше. Использование логарифмической шкалы для ρ_{v0} приводит к тому, что эта зависимость становится практически линейной и удовлетворительно аппроксимируется формулой:

$$\rho_{v0} = 10^{-6} \exp(0,07 SN) \quad (6)$$

Тогда масса выбросов сажи за время τ работы двигателя определяется по формуле

$$M_{\text{д}} = c_{\text{в0}} \frac{G_{\text{в}}}{c_{\text{д}}} \phi = \rho_{\text{в}} Q_{\text{в}} \tau \quad (7)$$

где $G_{\text{в}}$ - расход воздуха через камеру сгорания двигателя; $\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха; $Q_{\text{в}} = G_{\text{в}}/\rho_{\text{в}}$ - объемный расход воздуха через камеру сгорания. Использование в последней формуле величины $Q_{\text{в}}$ более предпочтительно, т.к. для конкретного двигателя она изменяется незначительно. Например, для двигателя ПС-90А во всем диапазоне эксплуатационных режимов $Q_{\text{в}}$ изменяется примерно на 30 %, в то время, как массовый расход $G_{\text{в}}$ изменяется почти в 4 раза (400 %).

4.1.6. Исходя из типовых технических требований ИКАО к авиационному топливу, после преобразования известных уравнений химических реакций можно определить количество конкретных продуктов полного сгорания в зависимости от массы израсходованного топлива:

$$\text{CO}_2 \text{ (кг)} = 3,12 M_{\text{T}} \text{ (кг)};$$

$$\text{H}_2\text{O (кг)} = 1,35 M_{\text{T}} \text{ (кг)};$$

$$\text{SO}_2 \text{ (кг)} = 0,005 M_{\text{T}} \text{ (кг)}.$$

Приведенные оценки массы выбросов ЗВ являются максимальными, т.к. соответствуют полному сгоранию топлива. Их погрешность при существующих значениях полноты сгорания топлива не превосходит 2 %. Отметим, что по данным доклада CAEP/5-IP/22, 2001 [9], для оценки двуокиси углерода CO_2 удельный показатель равен 3,15; для оксидов серы SO_x - 0,0009 (при содержании серы в объеме топлива величиной 0,05 %) и водяных паров H_2O - 1,23, т.е. величины близкие к полученным в указанных соотношениях.

4.1.7. Поскольку метан - лишь один из компонентов несгоревших углеводородов, то для его оценки по типу оценки CO_2 , H_2O , SO_2 необходимо определить долю несгоревших углеводородов в массе тех вредных выбросов, которые являются продуктами неполного сгорания топлива.

Продукты неполного сгорания топлива - это окись углерода (СО), несгоревшие углеводороды (СН) и твердые частицы (сажа). Обработка данных выбросов ЗВ по 43 отечественным и зарубежным двигателям различных классов тяг показала, что в среднем количество несгоревших углеводородов в 2,58 раза меньше, чем количество окиси углерода. Исходя из этого, и с учетом того, что метан (CH_4) по данным работы [13] составляет не более 10 % общей массы выброса углеводородов СН за цикл ИКАО, были получены следующие соотношения:

$$\text{СН (кг)} \approx 0,28 (1-\eta_{\text{г}}) M_{\text{T}} \text{ (кг)};$$

$$\text{СН}_4 \text{ (кг)} \approx 0,028(1-\eta_{\text{г}}) M_{\text{T}} \text{ (кг)};$$

$$\text{СО (кг)} \approx 0,72 (1-\eta_{\text{г}}) M_{\text{T}} \text{ (кг)}.$$

В последних трех выражениях $\eta_{\text{г}}$ - коэффициент полноты сгорания топлива, значения которого берутся из характеристик двигателя. Последние три выражения являются приближенными, и ими следует пользоваться в случаях, когда эмиссионные характеристики конкретного двигателя по каким-либо причинам не известны.

4.1.8. При использовании в расчетах эксплуатационных характеристик двигателей в случае необходимости следует воспользоваться формулами приведения к стандартным атмосферным условиям, что позволяет учесть влияние атмосферного давления и температуры на входе в двигатель на параметры потока воздуха во входном сечении камеры сгорания, расход топлива и, следовательно, на величину выбросов ЗВ:

- обороты:	$n_{\text{кпр}} = n \sqrt{\frac{288}{T}}$	об/мин;
- тяга:	$R_{\text{кпр}} = R \frac{101325}{p}$	Н;
- удельный расход топлива:	$C_{\text{удкпр}} = C_{\text{удк}} \sqrt{\frac{288}{T}}$	кг/(Н ч);
- расход топлива:	$G_{\text{кпр}} = G_{\text{т}} \frac{101325}{p} \sqrt{\frac{288}{T}}$	кг/с;
- расход воздуха:	$G_{\text{вкпр}} = G_{\text{в}} \frac{101325}{p} \sqrt{\frac{T}{288}}$	кг/с;
- относительный расход топлива:	$\xi_{\text{кпр}} = \frac{G_{\text{кпр}}}{G_{\text{вкпр}}} = \xi_{\text{т}} \frac{288}{T}$	К;
- температура воздуха за компрессором (на входе в КС):	$T_{\text{кпр}} = T_{\text{к}} \frac{288}{T}$	К;
- давление воздуха за компрессором (на входе в КС):	$p_{\text{кпр}} = p_{\text{к}} \frac{101325}{p}$	Па;

в приведенных формулах T и p - соответственно температура (К) и давление (Па) атмосферного воздуха в конкретных условиях эксплуатации.

4.2. Вспомогательные силовые установки (ВСУ)

4.2.1. В таблице ПЗ.2 приложения 3 для основных типов отечественных ВСУ представлены данные по выбросам основных типов ЗВ в течение часа работы ВСУ на номинальном режиме и на режиме холостого хода. Очевидно, масса выбросов j -го ЗВ за время τ_i (мин) работы ВСУ на i -ом режиме определится как

$$M_j = \sum_i M_{ji} \tau_i / 60 \quad (8)$$

где M_{ji} - масса выбросов j -го ЗВ за 1 час (60 мин.) работы ВСУ на i -ом режиме.

По данной формуле определяются массы выбросов CO, CH, NO_x.

4.2.2. В случае, когда известны эмиссионные характеристики ВСУ (индексы эмиссии и расходы топлива на конкретных режимах работы), то расчет массы выбросов ЗВ осуществляется по формуле (1).

4.2.3. Масса выбросов окислов серы SO₂ и твердых частиц (сажи) определяется так же, как и для основного типа силовой установки. При этом используются данные по расходу топлива на конкретном режиме работы ВСУ за контрольное время.

5. Последовательность расчета выбросов загрязняющих веществ

Ниже приводится рекомендуемая последовательность выполнения расчетов при использовании простого или детального метода по определению количества выбросов загрязняющих веществ двигателями ВС в районе аэропорта и на основном участке полета.

В процессе определения массы выбросов загрязняющих веществ основных двигателей отечественного производства можно использовать эмиссионные характеристики, представленные на рис. 1 Приложения 1, а для двигателей иностранного производства можно использовать эмиссионные характеристики по данным [17, 18].

5.1. Простой метод расчета для маршевых двигателей

Простой метод расчета может применяться в условиях отсутствия данных средств объективного контроля полетной информации. Этот метод основан на использовании стандартного ВПЦ.

5.1.1. Зная индекс эмиссии двигателя, вычисляется масса выбросов ЗВ данного вида. В частности, для воздушного судна с n двигателями при выполнении стандартного ВПЦ:

$$M_j = n \sum_i EI_{j,i} G_{т,i} \tau_i$$

Расчет массы выбросов CH_4 выполняется из соотношения $M(CH_4) = 0,1M(CH)$, а SO_2 из условия $M(SO_x) = 0,005M_t$, где M_t (кг) - суммарный расход топлива за ВПЦ. Масса выбросов твердых частиц M_d рассчитывается с помощью формул (6) и (7) с учетом количества двигателей.

5.1.2. Масса выбросов загрязняющих веществ CH , CO , NO_x на участке полета ВС от ВПЦ аэропорта вылета до ВПЦ посадки определяется из соотношения

$$M_{j,кp} = EI_{j,кp} M_{т,кp}, \text{ кг,}$$

где $EI_{j,кp}$ - берется для номинального режима работы двигателя, $M_{т,кp}$ - масса топлива, израсходованного в полете без учета этапов ВПЦ:

$$M_{т,кp} = n G_{т,кp} \tau_{кp} \approx G_{т,кp} - (G_{т,ВПЦ} + G_{т,нев}), \text{ кг,}$$

где n - число двигателей на ВС; $G_{т,ВПЦ}$ - суммарный расход топлива за ВПЦ; $G_{т,нев}$ - невыработываемый остаток топлива; $\tau_{кp}$ - время полета по маршруту на высоте более 915 м:

$$\tau_{кp} = \tau_{расч} - \tau_{ВПЦ}, \text{ с,}$$

где суммарное время стандартного ВПЦ $\tau_{ВПЦ} = 1974$ с, $\tau_{расч}$ - продолжительность полета по расписанию.

Если данные по рассматриваемому двигателю отсутствуют, то допустимо использование данных авиадвигателей со сходными параметрами рабочего процесса (тяга, степень повышения давления и температура газов на выходе из камеры сгорания).

5.1.3. Масса выбросов по каждому виду загрязняющего вещества от данного типа ВС определяется путем суммирования значений масс загрязняющих веществ по этапам полета для всех двигателей, установленных на данном типе ВС.

5.2. Детальный метод расчета для маршевых двигателей

Детальный метод расчета ориентирован на получение наиболее достоверных результатов по выбросам ЗВ на всех этапах эксплуатации двигателей ВС. Этот метод предусматривает использование характеристик двигателя и данных средств объективного контроля полета.

5.2.1. Для i -го этапа фактического ВПЦ с использованием дроссельных характеристик двигателя и формул приведения к САУ рассчитывается расход топлива:

$$G_{T_i} = \frac{C_{уид} R_i}{3600}, \text{ кг/с};$$

где $C_{уид} = C_{уидр} \sqrt{\frac{T}{288}}$; $R_i = R_{тр} \frac{P}{101325}$.

5.2.2. Далее определяется масса топлива, израсходованного за ВПЦ:

$$M_{г.ВПЦ} = n \sum_i G_{T_i} \tau_i, \text{ кг},$$

где τ_i - действительная продолжительность i -го этапа ВПЦ (с), n - число двигателей на ВС. Другим, более точным источником данных по G_{T_i} и τ_i являются данные расшифровки средств объективного контроля полетной информации.

После определения данных по G_{T_i} и τ_i рассчитывается масса выбросов загрязняющих веществ за ВПЦ:

$$M_{г.впц} = n \sum_i EI_j G_{T_i} \tau_i, \text{ кг}.$$

Здесь EI_j - берется из технических или сертификационных данных двигателя и пересчитывается на конкретные атмосферные условия.

5.2.3. Масса выбросов твердых частиц M_d рассчитывается с помощью формул (6) и (7) с учетом количества двигателей и пропорционально времени реального ВПЦ к стандартному ($\tau_{впц} = 1974$ с). Если данные по рассматриваемому двигателю отсутствуют, то допустимо использование данных авиадвигателей со сходными параметрами рабочего процесса.

5.2.4. Расчет $M(\text{CH}_4)$ и $M(\text{SO}_2)$ производится аналогично простой методике, но здесь величина M_{T_i} - представляет собой расход топлива за реальный ВПЦ.

5.2.5. Масса выбросов по каждому виду загрязняющего вещества от данного типа ВС определяется как сумма значений масс загрязняющих веществ по каждому двигателю за ВПЦ по всем двигателям, установленным на конкретном ВС.

5.2.6. При проведении операций опробования двигателя масса выбросов загрязняющих веществ одного двигателя определяется следующим образом:

$$M_{х оп} = \sum EI_j G_T \tau_i,$$

где τ_i - фактическое время работы на i -ом режиме, сек.

Данные по EI_j и секундному расходу топлива G_T для конкретного режима работы двигателя выбираются из близких по значению режимов работы двигателя. Более точным источником данных по G_T и τ_i являются данные расшифровки средств объективного контроля.

5.2.7. В процессе всех расчетов $M(\text{CH}_4)$ и $M(\text{SO}_2)$ величина M_T представляет собой расход топлива за фактическое время работы на i -ом режиме.

5.2.8. При определении массы выбросов ЗВ в полете на высоте более 915 м определяется время данного участка полета:

$$\tau_{кр} = \tau_{расч} - \tau_{впц}, \text{ с},$$

где $\Phi_{впц} = \sum_i \Phi_i$ - суммарная продолжительность всех этапов ВПЦ, $\tau_{расч}$ - продолжительность полета по расписанию.

5.2.9. Для конкретного режима работы двигателя с использованием его высотно-скоростных характеристик определяется расход топлива:

$$G_{\text{т.кр}} = \frac{C_{\text{т.кр}} R_{\text{т.кр}}}{3600}, \text{ кг/с.}$$

и рассчитывается масса топлива, израсходованного в полете без учета этапов ВПЦ:

$$M_{\text{т.кр}} = n G_{\text{т.кр}} \tau_{\text{т.кр}}, \text{ кг.}$$

Другим, более точным источником данных по $G_{\text{т.кр}}$ и $\tau_{\text{т.кр}}$ являются данные расшифровки средств объективного контроля полетной информации.

5.2.10. При проведении оценки массы выбросов загрязняющих веществ в полете без учета этапов ВПЦ необходимо отметить результаты и выводы [16], согласно которым массовые доли выбросов ЗВ составляют:

- окислы азота NO_x	84,0 %;
- окись углерода CO	11,8 %;
- углеводороды HC	4,0 %;
- твердые частицы (сажа)	0,2 %.

На основании этих данных в [16] предлагается учитывать только выбросы NO_x , значение индекса эмиссии которого на основном участке полета рассчитывается по формуле

$$(EI_{\text{NO}_x})_H = (EI_{\text{NO}_x})_0 \left(\frac{P_{xH}}{P_{x0}} \right)^{0,4} \text{EXP}(19(h_0 - h_H))$$

где $h_0 = 0,00634$ кг воды/кг сухого воздуха. Индекс «Н» соответствует параметрам на высоте Н полета.

Тогда

$$M_{\text{NO}_x \text{ кр}} = EI_{\text{NO}_x \text{ кр}} M_{\text{т.кр}}, \text{ кг.}$$

5.2.11. Расчет массы выбросов SO_2 выполняется из условия

$$M(\text{SO}_2) = 0,005 G_{\text{т.кр}}$$

Более точно выбросы окиси серы оцениваются по количеству израсходованного топлива и массовому содержанию серы в топливе по следующей формуле:

$$M(\text{SO}_2) = 2 \sum_i M_{\text{топл}} \bar{S}_i$$

где $M(\text{SO}_2)$ - валовые выбросы двуокиси серы, кг; $M_{\text{топл}}$ - количество израсходованного за полет топлива i -ой марки; \bar{S}_i - относительное массовое содержание серы в топливе i -ой марки (по паспорту).

5.2.12. Масса выбросов $M_{кр}$ по каждому виду загрязняющего вещества от данного типа ВС за полет по маршруту определяется путем суммирования значений масс загрязняющих веществ по всем двигателям, установленным на конкретном ВС.

5.3. Простой метод расчета для ВСУ

5.3.1. Для отечественных воздушных судов, по ВСУ которых имеются данные в таблице ПЗ.2 приложения 3, может быть произведена «простая» оценка выбросов j -го ЗВ за время τ_i (мин) работы ВСУ на i -ом режиме (номинальном или холостого хода):

$$M_j = \sum_i M_{j,i} \tau_i / 60, \text{ кг.}$$

5.3.2. Масса выбросов окислов серы SO_2 и твердых частиц (сажи) определяется так же, как и для основного типа силовой установки. При этом используются данные по расходу топлива на конкретном режиме работы ВСУ за контрольное время.

5.3.3. В случае, когда информации об эмиссионных характеристиках ВСУ недостаточно (особенно иностранного производства), или она отсутствует вовсе, то можно воспользоваться данными работы [20] (стр. А38 - А41).

5.4. Детальный метод расчета для ВСУ

Детальный метод расчета ориентирован на получение наиболее достоверных результатов по выбросам ЗВ на всех режимах работы ВСУ. Этот метод предусматривает использование характеристик ВСУ как по индексам эмиссии, так и по расходу топлива на каждом режиме работы. В этом случае общая масса выбросов j -го ЗВ определяется как сумма масс его выбросов за время τ_i работы ВСУ на i -ом режиме:

$$M_j = \sum_i EI_{j,i} G_{\tau,i} \tau_i, \text{ кг.}$$

Масса выбросов окислов серы SO_2 и твердых частиц (дыма) определяется так же, как и для основного типа силовой установки.

6. Оценка погрешности выполненных расчетов

Исходя из современных реалий учета расхода авиатоплива, до вывода из эксплуатации самолетов устаревших типов и естественной замены инструментальной системы обработки данных полетной информации на более точную, признаются следующие погрешности расчетов:

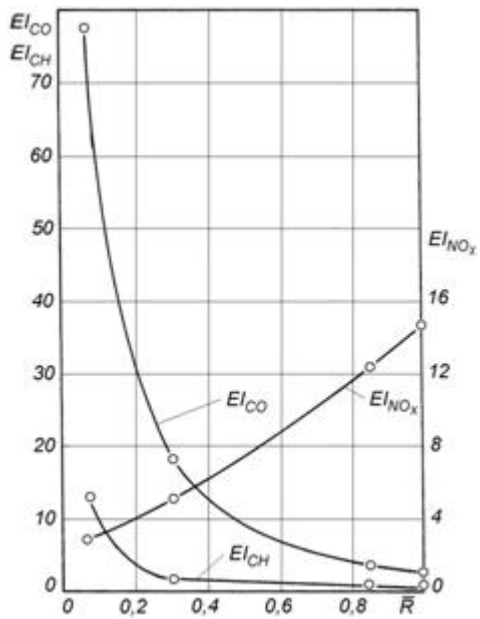
- а) для простого метода расчета - до 30 % при расчете выбросов ЗВ на этапах ВПЦ и до 45 % на этапах полета по маршруту, что согласуется с оценками методики [7];
- б) для детального метода расчета ЗВ [12]:
 - без применения данных обработки полетной информации и стандартного графика опробования - до 8 % (с использованием типовых эксплуатационных характеристик двигателя);
 - с применением данных обработки полетной информации - до 6 % (с использованием информации по расходу топлива для каждого двигателя).

7. Список использованных источников

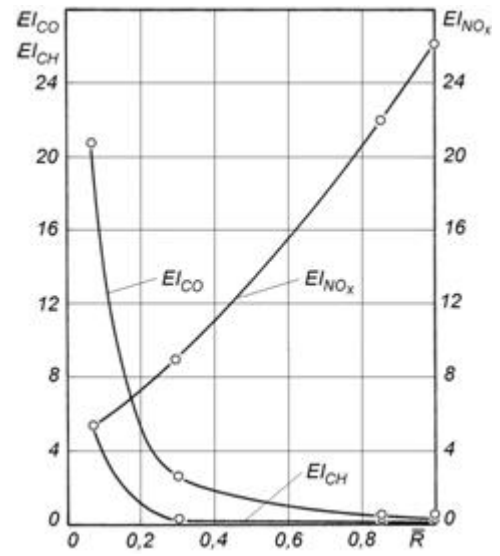
1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 2060-1. М., 1992, 64 с.
 2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ. Собр. законод. РФ, 1999, № 18, с. 4225 - 4243.
-

-
3. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ. Собр. законод. РФ, 1999, № 14, с. 3095 - 3127.
 4. Государственный стандарт СССР ГОСТ 17.2.2.04-86. «Охрана природы. Атмосфера. Двигатели газотурбинные самолетов гражданской авиации. Нормы и методы определения выбросов загрязняющих веществ». М. Изд. стандартов, 1986, 32 с.
 5. Министерство гражданской авиации, ГосНИИ ГА. «Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу двигателями основных типов воздушных судов гражданской авиации». М., 1991, 18 с.
 6. Авиационные Правила, часть 34 «Охрана окружающей среды. Нормы эмиссии для авиационных двигателей» (АП-34), 2001, 11 с.
 7. European Environment Agency, EMER/CORINAIR. Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 2 nd edition, 1999.
 8. Environmental benefits associated with global aviation emissions and potential reduction from CNS/ATM measures. Paper CAEP/5-IP/17, 2000, 131 p.
 9. Market - based measures report from WG5 to the fifth meeting of the Committee on Aviation Environmental Protection. Paper CAEP/5-IP/22, 2001, 109 p.
 10. ECAC. Methodology for emissions calculations, 2003.
 11. Международные стандарты и рекомендуемая практика «Охрана окружающей среды». Приложение 16 к Конвенции о международной ГА, том 2, «Эмиссия авиационных двигателей», Монреаль, 2-е изд., 1993, 96 с.
 12. Сравнительный анализ российских расчетных методик оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух двигателями воздушных судов ГА и действующих зарубежных методик, включая методику ЕЕА (EMEP/CORINAIR), и обоснование необходимости их гармонизации. Разработка исходных требований к обновленной модели расчета выбросов загрязняющих веществ авиадвигателям отечественных ВС, Отчет ГосНИИ ГА по НИР № 3-02/31-10.42-02 (этапы 1 и 2) 2002 г.
 13. Mobile combustion: aircraft. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000.
 14. Olivier, J.G.J. (1991): Inventory of Aircraft Emissions: A Review of Recent Literature. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Report no. 736 301 008, Bilthoven, the Netherlands.
 15. Champagne D.L. Standard measurement of aircraft gas turbine engine exhaust smoke// ASME Paper № 71-GT-88. 1971.
 16. Development of the technical basis for a New Emissions Parameter covering the whole aircraft operation: NEPAIR. CAEP/6-IP17. Final Technical Report. 2003. 68 Pages.
 17. ICAO Engine Exhaust Emissions DataBank, First Edition 1995, ICAO, Doc 9646- AN/943.
 18. ICAO Aircraft Engine Emissions DataBank. Issue 13 implemented on website, 1.10.2004.
 19. Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) Reference Manual. Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy. FAA-AEE-01-01. May 2001.
 20. Report of WG2 TG4 - Airport Air Quality: Emissions LAQ Guidance. Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP). Seventh meeting. Montréal, 5 Feb to 16 Feb 2007.
-

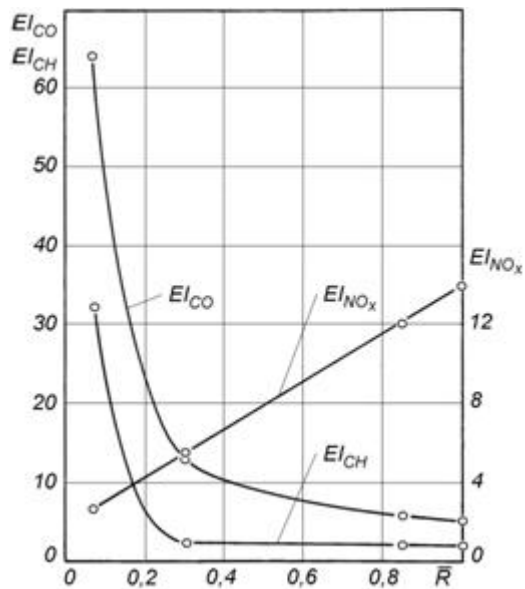
Эмиссионные характеристики некоторых отечественных авиадвигателей



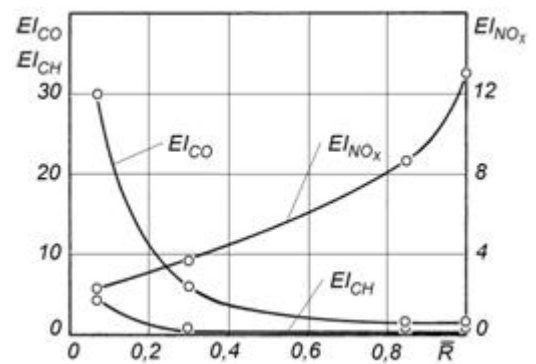
Д-30КУ



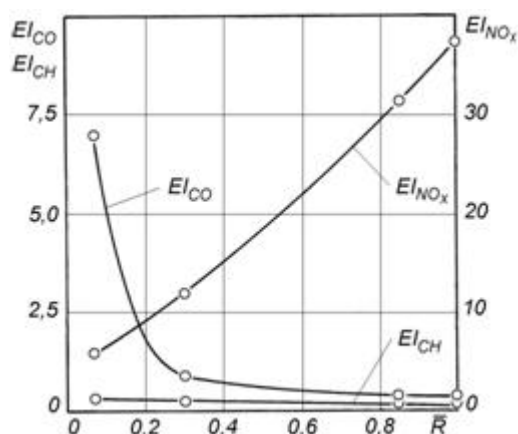
Д-36



НК-8-2У



НК-86МА



ПС-90А

Приложение 2

Пример расчета выбросов загрязняющих веществ

1. Исходные данные

- 1.1. Тип двигателя: ПС-90А
 1.2. Тип воздушного судна Ил-96-300
 1.3. Параметры стандартного ВПЦ и индексы эмиссии двигателя ПС-90А

Режим	Режим тяги, %	Время, сек	Расход топлива, кг/с	Индексы эмиссии, г/кг		
				HC	CO	NO _x
Взлет	100	42	1,739	0,12	0,35	37,0
Набор высоты	85	132	1,431	0,12	0,40	31,5
Заход на посадку	30	240	0,489	0,20	0,90	11,8
Малый газ	7	1560	0,178	0,30	6,90	5,8

- 1.4. Среднее число дымности SN = 13
 1.5. Средний объемный расход воздуха через камеру сгорания $Q_v = 7,1 \text{ м}^3/\text{с}$
 1.6. Рейс Ил-96 (борт 96005) по маршруту Шереметьево - Симферополь - Шереметьево.
 Количество рейсов 4. Количество ВПЦ 4.

2. Расчет выбросов ЗВ за полет

2.1. Расчет выбросов ЗВ по простой методике

Расчет по простой методике основан на использовании данных стандартного ВПЦ ИКАО по двигателю. Далее, с учетом числа двигателей n на ВС Ил-96-300 определяется масса каждого загрязняющего вещества.

Порядок расчета следующий.

2.1.1. Для одного двигателя ПС-90А масса выбросов j -го загрязняющего вещества за ВПЦ:

$$M_j = \sum EI_{ji} G_i \tau_i .$$

С учетом того, что масса топлива, израсходованная одним двигателем за ВПЦ, составляет $M_{\text{ТВПЦ}} = 657 \text{ кг}$, получаем:

$$M_{\text{CH}} = 0,138 \text{ кг}; \quad M_{\text{CO}} = 2,123 \text{ кг}; \quad M_{\text{NOx}} = 11,648 \text{ кг}; \quad M_{\text{д}} = 0,035 \text{ кг};$$

$$M_{\text{SO}_2} = 3,285 \text{ кг}; \quad M_{\text{CH}_4} = 0,014 \text{ кг}; \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = 887 \text{ кг}; \quad M_{\text{CO}_2} = 2050 \text{ кг}.$$

Здесь расчет массы выбросов CH_4 выполняется из соотношения $M(\text{CH}_4) = 0,1M(\text{CH})$, а SO_2 из условия $M(\text{SO}_x) = 0,005M_T$. Масса выбросов твердых частиц M_d рассчитывается с помощью формул (6) и (7). По формуле (6) определяем плотность твердых частиц $\rho_{v0} = 2,484 \times 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, а с помощью (7) находим $M_d = 35 \text{ гр}$. Расчет массы выбросов H_2O , CO_2 производится по формулам:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ (кг)} &= 3,12 M_T & \text{H}_2\text{O (кг)} &= 1,35 M_T \\ \text{(кг);} & & \text{(кг).} & \end{aligned}$$

2.1.2. Для четырех двигателей за ВПЦ получается соответственно:

$$\begin{aligned} M_{\text{CH}} &= 0,552 \text{ кг}; & M_{\text{CO}} &= 8,492 \text{ кг}; & M_{\text{NO}_x} &= 46,592 \text{ кг}; & M_d &= 0,140 \text{ кг}; \\ M_{\text{SO}_2} &= 13,14 \text{ кг}; & M_{\text{CH}_4} &= 0,056 \text{ кг}; & M_{\text{H}_2\text{O}} &= 3548 \text{ кг}; & M_{\text{CO}_2} &= 8200 \text{ кг}. \end{aligned}$$

2.1.3. Средний расчетный расход топлива за рейс по данному маршруту для двигателя ПС-90А составляет $\sim 4000 \text{ кг}$. Следовательно, на участке полета без ВПЦ выработка топлива составит соответственно $M_{T \text{ кр}} = 3343 \text{ кг}$. Среднее время крейсерского полета составляет 2 часа (7200 с).

2.1.4. Тогда масса выбросов загрязняющих веществ CH , CO , NO_x на участке полета ВС без ВПЦ определяется из соотношения

$$M_{j \text{ кр}} = EI_{j \text{ кр}} M_{j \text{ впц}}, \text{ кг},$$

где $EI_{j \text{ кр}}$ - берется для номинального режима работы двигателя. Массы выбросов других веществ определяются в соответствии с п. 2.1.1.

В итоге, для одного двигателя в условиях полета по маршруту без учета ВПЦ получаем:

$$\begin{aligned} M_{\text{CH}} &= 0,401 \text{ кг}; & M_{\text{CO}} &= 1,337 \text{ кг}; & M_{\text{NO}_x} &= 105,305 \text{ кг}; & M_d &= 0,127 \text{ кг}; \\ M_{\text{SO}_2} &= 16,7 \text{ кг}; & M_{\text{CH}_4} &= 0,04 \text{ кг}; & M_{\text{H}_2\text{O}} &= 4513 \text{ кг}; & M_{\text{CO}_2} &= 10430 \text{ кг}. \end{aligned}$$

2.1.5. Для четырех двигателей за ВПЦ получается соответственно:

$$\begin{aligned} M_{\text{CH}} &= 1,604 \text{ кг}; & M_{\text{CO}} &= 5,348 \text{ кг}; & M_{\text{NO}_x} &= 421,220 \text{ кг}; & M_d &= 0,508 \text{ кг}; \\ M_{\text{SO}_2} &= 66,8 \text{ кг}; & M_{\text{CH}_4} &= 0,16 \text{ кг}; & M_{\text{H}_2\text{O}} &= 18052 \text{ кг}; & M_{\text{CO}_2} &= 41720 \text{ кг}. \end{aligned}$$

2.1.6. Масса выбросов по каждому виду загрязняющего вещества от данного типа ВС определяется путем суммирования значений масс загрязняющих веществ по этапам полета для всех двигателей, установленных на данном типе ВС.

2.1.7. Умножая суммарные массы выбросов ЗВ на 4, получим значения масс выбросов ЗВ за четыре полета.

2.1.8. Результаты расчетов выбросов ЗВ по данному типу ВС сводим в итоговую таблицу (протокол).

Результаты расчета выбросов ЗВ

№ п.п	Тип ВС	Тип двигателя	Количество двигателей	Количество ВПЦ	M _т запр.	Выбросы загрязняющих веществ, кг							
						СН	СО	NO _x	Дым	SO _x	H ₂ O	CO ₂	CH ₄
1.	Ил-96	ПС-90А	4	1		2,16	13,84	467,8	0,648	79,9	21600	49920	0,22
Итого	Ил-96	ПС-90А	4	4		8,64	55,36	1871,2	2,592	319,6	86400	199680	0,88

2.1.9. Результаты аналогичных расчетов по выполненным полетам за отчетный период деятельности авиапредприятия сводятся в итоговый протокол представленной формы, который утверждается руководителем предприятия.

2.2. Расчет выбросов по детальной методике

При расчетах по детальному методу используем информацию объективных средств контроля двух полетов по этому же маршруту (распечатки контроля расхода топлива и временной график основных участков ВПЦ и полета по маршруту).

Порядок расчета следующий.

2.2.1. Величину выбросов ЗВ каждого компонента на конкретном режиме ВПЦ определяем как произведение соответствующего индекса эмиссии на выработку топлива на этом режиме:

$$M_{\text{ВПЦ}} = n \sum_i EI_i G_{\text{т}} \tau_i, \text{ кг.}$$

где τ_i - продолжительность i -го этапа ВПЦ (с), $n = 4$ - число двигателей на ВС Ил-96-300.

2.2.2. Рассчитывается масса топлива, израсходованного в полете без учета этапов ВПЦ, как разность масс выработанного топлива за весь полет и за фактический ВПЦ:

$$M_{\text{т кр}} = M_{\text{т выр}} - M_{\text{т ВПЦ}}, \text{ кг.}$$

2.2.3. На основании данных [16] значение индекса эмиссии NO_x на основном участке полета рассчитывается по формуле

$$(EI_{\text{NO}_x})_{\text{Н}} = (EI_{\text{NO}_x})_0 \left(\frac{P_{\text{кН}}}{P_{\text{к0}}} \right)^{0,4} \text{EXP}(19(h_0 - h_{\text{Н}}))$$

где $h_0 = 0,00634$ кг воды/кг сухого воздуха. Индекс «Н» соответствует параметрам на высоте Н полета. Тогда

$$M_{\text{NO}_x \text{ кр}} = EI_{\text{NO}_x \text{ кр}} M_{\text{т кр}}, \text{ кг.}$$

2.2.4. Расчет массы выбросов SO₂ выполняется также из условия

$$M_{\text{SO}_2} = 0,005 G_{\text{т кр}}$$

2.2.5. Расчет массы выбросов H_2O и CO_2 производится аналогично п. 2.1.1, но с учетом фактического расхода топлива.

2.2.6. Масса выбросов твердых частиц M_d также рассчитывается с помощью формул (6) и (7). По формуле (6) определяем плотность твердых частиц $\rho_{v0} = 2,484 \times 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, а с помощью (7) находим M_d с учетом фактической длительности конкретного участка полета.

2.2.7. Масса выбросов $M_{кр,л}$ по каждому виду загрязняющего вещества от данного типа ВС за полет по маршруту определяется путем суммирования значений масс загрязняющих веществ по всем двигателям, установленным на ВС.

2.2.8. Далее, в соответствии с методикой, производится суммирование масс вредных выбросов компонента по режимам, соответствующим конкретным этапам полета.

2.2.9. Результаты расчетов выбросов ЗВ, полученных с помощью детальной методики, сведены в таблицы П2.2-1 - П2.2-3 по каждому из регламентированных ИКАО компонентов.

Таблица П2.2-1

Результаты расчета выбросов СН (в гр.) одним двигателем ПС-90А

№ п/п	Маршрут	ВПЦ						Основной участок полета			
		Запуск	Руление	Взлет	Заход на пос.	Реверс и руление	Итого по ВПЦ	Набор высоты	Крейс. полет	Снижение	Итого по участку
1.	Шрм.-Симф.	1,59	60,9	24,72	13	15,6	115,81	24,36	335,64	24,96	384,96
2.	Симф.-Шрм.	1,44	39,9	20,04	18,4	20,4	100,18	111,6	188,64	31,92	332,16
3.	Шрм.-Симф.	1,5	48,0	26,88	16,2	18	110,58	94,56	263,52	24,84	382,92
4.	Симф.-Шрм.	1,41	54,0	19,68	31,4	21,6	128,09	74,16	245,76	79,44	399,36
	Итого по этапу за 4 рейса	454,66						1499,4			
	В среднем за 1 рейс	113,67						374,85			

Таблица П2.2-2

Результаты расчета выбросов СО (в гр.) одним двигателем ПС-90А

№ п/п	Маршрут	ВПЦ						Основной участок полета			
		Запуск	Руление	Взлет	Заход на пос.	Реверс и руление	Итого по ВПЦ	Набор высоты	Крейс. полет	Снижение	Итого по участку
1.	Шрм.-Симф.	36,57	1400,7	72,1	58,5	358,8	1926,67	81,2	1118,8	83,2	1283,2
2.	Симф.-Шрм.	33,12	917,7	58,45	82,8	469,2	1561,27	372	628,8	106,4	1107,2
3.	Шрм.-Симф.	34,5	1104	78,4	72,9	414	1703,8	315,2	878,8	82,8	1276,8
4.	Симф.-Шрм.	32,43	1242	57,4	141,3	496,8	1969,93	247,2	819,2	264,8	1331,2
	Итого по этапу за 4 рейса	7161,67						4998,4			
	В среднем за 1 рейс	1790,42						1249,6			

Таблица П2.2-3

Результаты расчета выбросов NO_x (в гр.) одним двигателем ПС-90А

№ п/п	Маршрут	ВПЦ						Основной участок полета			
		Запуск	Руление	Взлет	Заход на пос.	Реверс и руление	Итого по ВПЦ	Набор высоты	Крейс. полет	Снижение	Итого по участку
1.	Шрм.-Симф.	30,74	1177,4	7622	767	301,6	9898,74	6394,5	88105,5	6552	101052
2.	Симф.-Шрм.	27,84	771,4	6179	1085,6	394,4	8458,24	29295	49518	8379	87192
3.	Шрм.-Симф.	29,0	928,0	8288	955,8	348	10548,8	24822	69174	6520	100516
4.	Симф.-Шрм.	27,26	1044,0	6068	1852,6	417,6	9409,46	19467	64512	20853	104832
	Итого по этапу за 4 рейса	38315,24						393592			
	В среднем за 1 рейс	9578,81						98398			

2.2.10. Результаты расчетов выбросов ЗВ по данному типу ВС сводим в итоговую таблицу (протокол).

Таблица П2.2-4

Результаты расчета выбросов ЗВ

№ п.п	Тип ВС	Тип двигателя	Количество двигателей	Количество ВПЦ	M _T запр., кг	Выбросы загрязняющих веществ, кг							
						СН	СО	NO _x	Дым	SO _x	H ₂ O	CO ₂	CH ₄
1.	Ил-96	ПС-90А	4	4	58468	7,816	48,68	1727,6	2,19	292,34	78896	182420	0,782

2.2.11. Результаты аналогичных расчетов по выполненным полетам за отчетный период деятельности авиапредприятия сводятся в итоговый протокол представленной формы, который утверждается руководителем предприятия.

3. Сравнение результатов расчета по простой и детальной методикам

Сравнивая соответствующие итоговые массы выбросов ЗВ, представленные в табл. П2.1-1 и П2.2-4, легко прийти к выводу, что средняя масса выбросов каждого из компонентов, рассчитанных по детальной методике ниже, чем по простой методике. Это, по сути, характеризует погрешность простого метода, который, как правило, дает завышенные значения масс загрязняющих веществ, что, естественно, приведет к увеличению платы за наносимый окружающей среде ущерб.

Анализ приведенных в табл. П3-1 расхождений фактического и нормируемого времени ВПЦ в условиях реальной эксплуатации наглядно показывает преимущества использования данных объективного контроля. В основном это преимущество обусловлено учетом фактического времени руления, так как время взлета, набора высоты до 915 метров, снижение и заход на посадку с высоты 915 метров достаточно точно усредняется ИКАО.

Как видно из таблицы, только в одном случае продолжительность реального ВПЦ превосходит продолжительность стандартного ВПЦ. В остальных случаях, особенно в осенние месяцы, продолжительность реального ВПЦ существенно ниже, чем стандартного.

Таблица ПЗ-1

Сравнение фактического и нормируемого времени на выполнение ВПЦ

Дата	Рейс №	Тип ВС	Аэропорт взлета/посадки	Фактическое время за ВПЦ, мин.	Нормируемое время ВПЦ ИКАО, мин.	Расхождение фактического и нормируемого времени, мин./%
20.10	742	Ту-154	Шереметьево	16,8		
			Иркутск	10,1	32,9	- 6,0/18
21.10			Шереметьево	14,2		
			Пулково	10,5	32,9	- 8,2/25
			Пулково	15,05		
			Шереметьево	14,6	32,9	- 3,25/10
21.10	521	Ил-86	Шереметьево	17,6		
			Дубай	11,6	32,9	- 2,7/8
11.07	199	Ил-96	Шереметьево	21,84		
			Симферополь	13,16	32,9	+ 2,1/6
			Симферополь	14,34		
			Шереметьево	11,50	32,9	- 7,06/21
12.07	199	Ил-96	Шереметьево	18,36		
			Симферополь	6,46	32,9	- 8,08/24
			Симферополь	20,02		
			Шереметьево	11,06	32,9	- 0,82/2

Приложение 3

Данные по выбросам загрязняющих веществ отечественных авиадвигателей и ВСУ

Таблица ПЗ.1

Перечень загрязняющих веществ в соответствии со стандартом ИКАО

Название двигателя	Масса выбросов ЗВ за стандартный ВПЦ (кг)			
	СН	СО	NO _x	Дым
Д-30 (Псерии)	8,992	13,989	4,338	0,317
Д-30КП-2	4,874	22,932	5,510	0,095
Д-30КУ	3,753	20,341	4,720	0,190
Д-30КУ-154	4,389	27,627	4,0	0,181
ПС-90А	0,138	2,123	11,648	0,035
НК-8-2У	39,677	47,684	4,776	0,271
НК-86	17,379	20,396	5,440	0,261
НК-86МА	1,773	12,334	4,633	0,192
Д-36	1,685	6,636	4,412	0,025
Д-18Т	0,915	6,868	6,873	0,099
АИ-25	2,203	8,663	0,513	0,044
АИ-24	0,7	12,32	0,64	0,044

Название двигателя	Масса выбросов ЗВ за стандартный ВПЦ (кг)			
	СН	СО	NO _x	Дым
АИ-20	3,225	23,623	1,103	0,058
ТВ2-117	0,12	0,74	0,98	0,1
ТВ3-117	0,17	0,95	1,5	0,032

Таблица ПЗ.2

Данные по эмиссии ВСУ

Название двигателя	Режим работы	СО (кг/час)	СН (кг/час)	NO _x (кг/час)
ТА-6	Номинальный	4,6	0,5	1,25
	Холостой ход	6,0	1,5	0,75
ТА-8	Номинальный	2,5	0,3	0,5
	Холостой ход	3,5	1,0	0,3
ТА-12	Номинальный	5,0	0,75	2,5
	Холостой ход	6,0	1,5	1,5
АИ-9	Номинальный	1,0	0,2	0,3
	Холостой ход	2,5	0,75	0,2
ВСУ-10	Номинальный	0,3	-	1,0
	Холостой ход	0,3	-	0,5