

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ" (МГТУ ГА)**

---

Кафедра безопасности полётов и жизнедеятельности

**Николайкин Н.И., Смирнова Ю.В., Карпин Б.Н.**

*Библиотечный шифр – 966*

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ  
РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ  
ОТ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ ГРАЖДАНСКИХ  
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

**ПОСОБИЕ**

**для практических занятий и дипломного проектирования**

*для студентов всех специальностей всех форм обучения*

**Москва – 2006**

Николайкин Н.И., Смирнова Ю.В., Карпин Б.Н.

Экология. Промышленная экология: Расчёт выбросов загрязняющих веществ от воздушных судов: Пособие для практических занятий и дипломного проектирования / Н.И. Николайкин, Ю.В. Смирнова, Б.Н. Карпин. – М.: МГТУ ГА, 2006. - 58 с.

В данном пособии приведена теоретическая часть по видам загрязнения окружающей среды воздушным транспортом, методики расчёта объёма выбросов на этапах полёта и примеры задач с решением, которые показывают непосредственное применение методик для оценки уровня загрязнения конкретным воздушным судном на определённом этапе полёта.

Редактор .....

ЛР № ..... от .....

Подписано в печать ... .. 2006 г.

Печать офсетная

Формат 60x84/16

... уч. -изд. л.

.... Усл. печ. л.

Заказ № .../..

Тираж 300 экз.

**Московский государственный технический университет ГА**

Редакционно-издательский отдел

125993, Москва, ул. Пулковская, д. 6а

© Московский государственный  
технический университет ГА, 2006

# СОДЕРЖАНИЕ

	<b>стр.</b>
Введение	5
1. Основные термины и определения	6
2. Краткая теоретическая часть	7
3. Примеры расчёта	16
4. Контрольные задания	30
Список использованной литературы	35
Приложения	37
Приложение 1. <b>Форма представления данных об удельных показателях выбросов ЗВ для отечественного авиадвигателя ПС-90А в официальном издании «Банка данных ИКАО» (1995) на русском языке</b>	38
Приложение 2. <b>Удельные показатели выбросов ЗВ для отечественных авиадвигателей, распространённых в практике отечественной ГА, в соответствии с «Банком данных ИКАО по эмиссии выхлопных газов двигателей, 1995»</b>	39
Приложение 3. <b>Удельные показатели выбросов ЗВ для иностранных авиадвигателей, распространённых в практике отечественной ГА, в соответствии с «Банком данных ИКАО по эмиссии выхлопных газов двигателей, 1995»</b>	40
Приложение 4. <b>Интенсивность выброса в атмосферу ЗВ для некоторых отечественных авиадвигателей и вспомогательных силовых установок по данным МАП-89</b>	41
Приложение 5. <b>Масса ЗВ, выбрасываемых отечественными воздушными судами за один стандартный ВПЦ при стандартных атмосферных условиях, кг (ГосНИИ ГА – 1991)</b>	44
Приложение 6. <b>Масса ЗВ, выбрасываемых за цикл операций опробования маршевых двигателей отечественных воздушных судов в наземных условиях, (ГосНИИ ГА – 1991)</b>	44
Приложение 7. <b>Масса ЗВ, выбрасываемых при работе ВСУ за один самолёто-вылет, (ГосНИИ ГА – 1991)</b>	45
Приложение 8. <b>Нормативы расхода топлива и технических скоростей на эксплуатацию воздушных судов в соответствии с указаниями ДВТ Минтранса России от 10.04.96 № ДВ-45/И</b>	45
Приложение 9. <b>Основные характеристики отечественных воздушных судов, по данным Авиационного сертификационного центра ГосНИИ ГА (2002 г.)</b>	50
Приложение 10. <b>Этапы полёта</b>	53
Приложение 11. <b>Ориентировочные значения поправочных коэффициентов для ЗВ на различных этапах ВПЦ для ВС</b>	54
Приложение 12. <b>Распределение эшелонов в воздушном пространстве РФ</b>	56
Приложение 13. <b>Требования к качеству топлив для реактивных двигателей</b>	58

## ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ (АББРЕВИАТУРЫ)

<b>АД</b>	- авиационный двигатель;
<b>АП</b>	- авиационные правила;
<b>ВПП</b>	- взлётно-посадочная полоса;
<b>ВПЦ</b>	- взлётно – посадочный цикл;
<b>ВС</b>	- воздушное судно;
<b>ВСУ</b>	- вспомогательная силовая установка;
<b>ГВС</b>	- гражданское воздушное судно;
<b>ЗВ</b>	- загрязняющее вещество;
<b>ИКАО</b>	- Международная организация гражданской авиации (от <i>ICAO</i> см. ниже);
<b>КАЕП</b>	- Комитет по охране окружающей среды от воздействия авиации (от <i>CAEP</i> см. ниже);
<b>МАК</b>	- межгосударственный авиационный комитет;
<b>МАП</b>	- министерство авиационной промышленности (СССР);
<b>МСА</b>	- международная стандартная атмосфера;
<b>ПЭВМ</b>	- персональная электронно-вычислительная машина;
<b>ТО</b>	- техническое обслуживание;
<b>ФАП</b>	- федеральные авиационные правила;
<b>САЕР</b>	- <i>Committee on Aviation Environmental Protection;</i>
<b>CORINAIR</b>	- <i>Co-ordination Of Information On Air Emissions;</i>
<b>ЕМЕР</b>	- <i>Co-operative program for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe;</i>
<b>ICAO</b>	- <i>International Civil Aviation Organization.</i>

## ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс всегда способствовал всё возрастающему желанию человечества удовлетворять свои неограниченные потребности, способом и основой реализации которых являются разнообразные технические средства. Это вело к постоянному увеличению потребности в использовании природных ресурсов. Последствием такого развития было возрастание антропогенной нагрузки на окружающую среду [ 1 ].

Гражданская авиация (ГА) не является исключением, а с учётом постоянного возрастания значимости в коммуникационных связях человечества, её относительно не большой вклад в негативные биосферные процессы увеличивается [ 2 ]. Всё это заставляет человечество задуматься о своём будущем на нашей планете, разрабатывать меры по ограничению воздействия на биосферу и стремиться рационализировать свое потребление. В дальнейшем, по мере истощения природных ресурсов, потребуются меры по сокращению их потребления.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО), олицетворяющая собой мировое сообщество в решении межгосударственных проблем гражданской авиации, признала вопросы взаимодействия ГА и окружающей среды одним из важнейших направлений своей деятельности. Это нашло отражение как в решении о создании специализированного Комитета ИКАО по экологии (САЕР<sup>1</sup>), так и в принятии специальных международных норм и правил<sup>2</sup>.

Внимание ИКАО к проблемам охраны окружающей среды подтверждается также и тем, что в течение последних 15 лет, на всех Ассамблеях ИКАО рассматривались экологические проблемы ГА и были бы приняты соответствующие решения, включая специальные резолюции. Кроме того, в зависимости от конкретной ситуации в различных странах и регионах, государства принимают собственные, как правило, более жёсткие нормативные акты по вопросам нормирования воздействия авиации на окружающую среду.

---

<sup>1</sup> САЕР (от *Committee on Aviation Environmental Protection*) – Комитет по охране окружающей среды от воздействия авиации учреждён в 1983 г. в качестве технического комитета Совета ИКАО. САЕР образован путём объединения *Комитета по шуму* (CAN) и *Комитета по авиационной эмиссии* (CAEE), созданных соответственно в 1969 и 1971 гг.

<sup>2</sup> В 1971 г. на основе рекомендаций "Специального совещания по авиационному шуму в окрестностях аэродромов (1969 г.)" в дополнение к Конвенции о международной гражданской авиации (Чикагская конвенция, 1944) было принято Приложение 16, в котором рассматривались различные аспекты проблемы авиационного шума. После своего первого принятия Приложение 16 постоянно дорабатывалось в целях учёта новых проблем в области охраны окружающей среды, а также в связи с появлением новых технологий. Приложение 16 содержит: Том 1 "Авиационный шум" [ 3а ]; Том 2 "Эмиссия авиационных двигателей" [ 3б ].

Актуальность проблемы нашла отражение в национальных авиационных правилах ряда стран (например FAR-34 [ 4 ], имеющих развитое авиастроение и регламентирующих процедуру сертификации гражданских воздушных судов (ГВС), а также ограничивающих их эксплуатацию. В наши дни соответствие ГВС требованиям действующих природоохранных норм рассматривается в качестве одного из основных элементов их летной годности.

## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Использованные в данном пособии широко распространённые в сфере гражданской авиации термины имеют в соответствии с ФАП полётов в воздушном пространстве РФ [ 5 ] следующие определения.

**Аэродром** - участок земли или поверхности воды с расположенными на нём зданиями, сооружениями и оборудованием, предназначенный для взлёта, посадки, руления и стоянки воздушных судов.

**Аэропорт** – комплекс сооружений, включающий в себя аэродром, аэровокзал, другие сооружения, предназначенные для приёма и отправки воздушных судов, обслуживания воздушных перевозок и имеющий для этих целей необходимые оборудование, авиационный персонал и других работников.

**Взлёт** – этап полёта с момента начала ускоренного движения воздушного судна с линии старта на земной (водной) или искусственной поверхности (момента отделения от указанной поверхности при вертикальном полёте) до момента набора установленных высоты и скорости полёта применительно к конкретному воздушному судну.

**Взлётно–посадочная полоса** – часть аэродрома, предназначенная для разбега при взлёте и пробега после посадки воздушных судов.

**Воздушное судно** – летательный аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счёт взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отражённым от поверхности земли или воды.

**Полёт** – движение воздушного судна с начала взлёта до окончания посадки.

**Посадка** – этап полёта от момента замедленного движения воздушного судна с высоты начала выравнивания (начала торможения при вертикальной посадке) до момента касания земной, водной или иной поверхности и окончания пробега.

**Руление** - движение воздушного судна по поверхности аэродрома за счёт собственной тяги, за исключением взлёта и посадки, а в отношении вертолётов – также перемещение над площадью маневрирования аэродрома в пределах диапазона высот, позволяющего использовать эффект земли, и на скоростях принятых для руления, то есть руление по воздуху.

**Эшелонирование** – общий термин, означающий вертикальное, продольное или боковое рассредоточение воздушных судов в воздушном пространстве на установленные интервалы.

**Эшелон полёта** – установленная поверхность постоянного атмосферного давления, отнесённая к давлению 760,0 мм ртутного столба (101 325 Па) и отстоящая от других таких поверхностей на величину установленных интервалов.

**Эшелон перехода** – установленный эшелон полёта для перевода шкалы давления барометрического высотомера со стандартного давления на давление аэродрома или минимальное атмосферное давление, приведённое к уровню моря.

## 2. КРАТКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

**Зона аэродрома (аэропорта)** включает часть атмосферы над соответствующим участком земной поверхности условно ограниченной высотой 900 м от уровня земли или, по правилам ИКАО, 3000 футов<sup>1</sup>). Это соответствует принятой в метеорологии средней толщине пограничного (приземного) слоя атмосферы. Считается, что вещества, выброшенные в атмосферу на больших высотах, как правило, уже не достигают уровня земной поверхности (не попадают в приземные слои) и не загрязняют воздух в районе аэропорта.

### **Зоны загрязнения атмосферы.**

Главной особенностью загрязнения атмосферы, характерной только для летательных аппаратов (ЛА) исключая космические, является выброс ЗВ на следующих характерных высотах.

1. На уровне земной поверхности. – как результат наземных гонок, запуска и остановки двигателей, руления перед взлётом и после посадки, опробования маршевых двигателей воздушных судов (ВС) в стационарных условиях, а также работы вспомогательных силовых установок (ВСУ) ВС.

2. В приземном слое атмосферы от уровня земли до высоты 900 м – как результат набора высоты и снижения.

3. На больших высотах – выше 900<sup>2</sup>) м как результат набора высоты, крейсерского горизонтального полёта и снижения ВС.

Время полёта ВС принято делить на четыре этапа, соответствующие различным зонам загрязнения атмосферы. Выделяют:

- Взлётно-посадочный цикл (ВПЦ) в зоне аэродрома (высоты от 0 до 900 м);
- Набор высоты от 900 м и до эшелона крейсерского полёта;
- Крейсерский горизонтальный полёт по маршруту на высотах эшелона;
- Снижение с высоты эшелона крейсерского полёта до высоты зоны аэродрома (900 м).

---

<sup>1</sup> Фут (от англ. *foot* – нога, ступня) – единица длины в разных странах, в том числе в английской системе мер и в России до введения метрической системы; 1' = 12 дюймов = 0,3048 м.

<sup>2</sup> И до (9000 ... 12000) м – для обычных самолётов или до (19000 ... 22000) м – для сверхзвуковых самолётов.

Масса загрязняющего вещества (ЗВ), образовавшегося в авиадвигателе в процессе сгорания топлива и выброшенного в атмосферу, зависит от:

- режима и времени работы двигателя;
- удельного показателя образования этого вещества, отнесённого к единице количества используемого топлива;
- расхода топлива на соответствующем режиме работы.

Наиболее сложные лётные операции самолёты совершают в зоне аэродрома. При этом авиадвигатели эксплуатируются в максимальном диапазоне изменения режимов работы, так как от них требуется обеспечить тяговые характеристики, необходимые ЛА для совершения операций ВПЦ.

**Взлётно-посадочный цикл.** С целью унификации описания режимов работы авиадвигателей различных типов и конструкций при выполнении воздушным судном операций в зоне аэродрома был разработан некий условный взлётно-посадочный цикл, усреднённый по данным характерных международных аэропортов различных стран мира (см. рис. 1.). Такой цикл принят в качестве “стандартного цикла ИКАО” и используется в международной практике для различных испытаний, расчётов и сравнений, связанных с проблемами загрязнения атмосферы. При этом для каждого конкретного аэродрома, конкретного типа ВС, а при наличии нескольких взлётно-посадочных полос (ВПП) и для конкретной ВПП существуют свои реальные усреднённые взлётно-посадочные циклы [ 6 ].

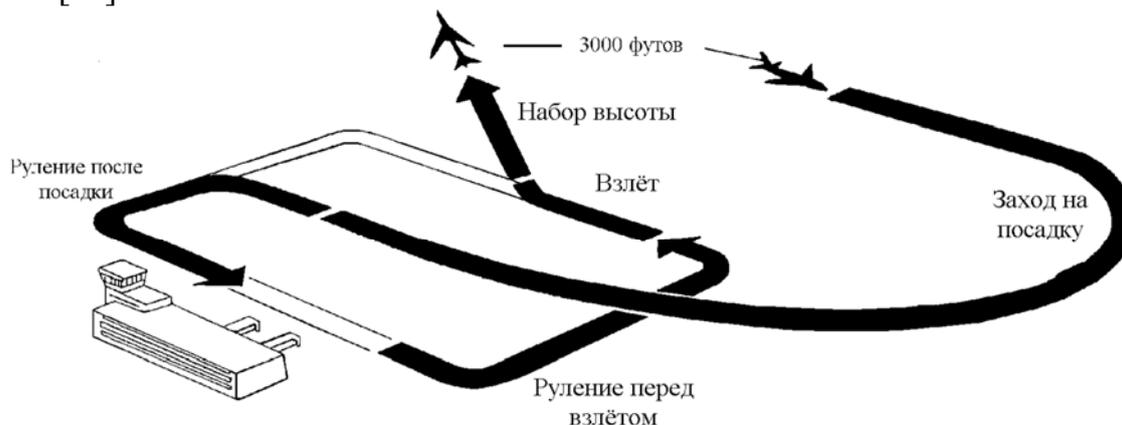


Рис.1. Стандартный взлётно-посадочный цикл ИКАО [ 6 ]

**Международная стандартная атмосфера (МСА).** В “Руководстве по стандартной атмосфере ИКАО” [ICAO Doc 7488] МСА определяется как “... атмосферные условия, по отношению к которым должны корректироваться эксплуатационные параметры всех двигателей” [ 7 ]. При этом, “*Стандартные атмосферные условия принимаются условия МСА на уровне моря, за исключением того, что стандартная абсолютная влажность принимается равной 0,00629 кг воды / кг сухого воздуха*”. На этом основании в специализированной технической литературе используется понятие “МСА на уровне моря”, которому соответствуют условия: температура  $T = 288 \text{ К}$  ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), атмосферное

давление  $P = 760$  мм рт.ст. и абсолютная влажность  $\rho = 6,29$  г/кг (относительная влажность  $\varphi = 60$  %).

Понятие МСА используется для пересчёта экспериментально полученных значений показателей работы авиадвигателей при их сопоставлении между собой и при сравнении с нормативными значениями.

**Режимы работы авиадвигателей** различаются по создаваемой ими реактивной тяге или мощности<sup>1</sup>. Так, при взлёте самолёта и наборе высоты (до 900 м) его двигатели практически всегда работают на 100 и 85 % от максимальной, располагаемой для взлёта тяги/мощности. Эта тяга/мощность носит название *установленная<sup>2</sup> взлётная тяга/мощность – утверждённая для данного типа или модели двигателя максимальная тяга/мощность, развиваемая на земле (в статических условиях) при условиях МСА на уровне моря (без использования впрыска воды и чрезвычайных режимов<sup>3</sup>) и утверждённая для осуществления взлёта с ограничением периода непрерывного использования не более 5 минут*. Принятое международное обозначение этого параметра авиадвигателей самолётов с дозвуковой скоростью полёта –  $F_{oo}$ , а единица измерения – килоньютон (кН).

При рулении самолёта используются режимы, которые большей частью совпадают с тягой "земного малого газа".

Для характеристики используемых режимов работы двигателей в стандартном ВПЦ, применяется понятие величины тяги, выражаемое в долях от взлётной тяги  $F_{oo}$ . В отечественных изданиях до последнего времени (до выхода Части 34 Авиационных правил – АП-34 [9], МАК-2002) использовалось понятие-синоним "относительная тяга" (обозначение –  $R$ ), то есть тяга на данном режиме, отнесённая к максимальной тяге, развиваемой при взлёте (обозначение –  $R$ ). В материалах ИКАО до сих пор используется понятие-синоним "режим тяги" (обозначение –  $\% F_{oo}$ ).

Для типичных операций ВПЦ, выполняемых воздушным судном (самолётом), которое оснащено наиболее широко применяемыми в современной гражданской авиации маршевыми газотурбинными двигателями, условно принимаются значения величин тяги двигателя, приведённые в табл. 1.

---

<sup>1</sup> Параметр "тяга" применяется к турбореактивным, а параметр "мощность" – к поршневым, турбовинтовым, турбовальным авиадвигателям. Эти и другие понятия, характеризующие работу авиадвигателей, приводятся в соответствии с терминологией Части 33 Авиационных правил (АП-33), МАК-1994 [ 8 ].

<sup>2</sup> Установленная ... – подтверждённая на соответствие требований АП-33 и одобренная в результате сертификации, а также указанная в Карте данных Сертификата типа двигателя величина параметра, тяги, мощности.

<sup>3</sup> В чрезвычайных случаях (к которым относятся такие особые случаи полёта, как: 1 – отказ или выключение одного из двигателей силовой установки во время взлёта; 2 – прерванный заход на посадку; 3 – уход на второй круг) допускается работа авиадвигателя в режиме повышенной (по сравнению с обычным взлётным режимом) мощности или тяги, на котором двигатель может работать однократно в течение ограниченного времени непрерывной работы. В таких случаях работа двигателя характеризуется параметрами "чрезвычайная мощность" или "тяга одноразового применения".

Таблица 1

Характерные операции самолёта (этапы ВПЦ) и соответствующие им режимы работы авиадвигателей в зоне аэродрома, принятые ИКАО в качестве стандартных, по АП-34 [ 9 ]

Этап взлётно-посадочного цикла	Дозвуковые самолёты	
	Величина тяги двигателя на этапе	Продолжительность этапа, мин
Взлёт	$F_{oo}$	0,7
Набор высоты	$0,85 \cdot F_{oo}$	2,2
Заход на посадку	$0,30 \cdot F_{oo}$	4,0
Руление (земной малый газ)	$0,07 \cdot F_{oo}$	26,0

**Показатели образования и выброса загрязняющих веществ.** В международной практике оценки воздействия гражданской авиации на окружающую среду – образование и последующий выброс в атмосферу каждого загрязняющего вещества – характеризуют удельным показателем выброса, равным массе этого вещества, образовавшегося в авиадвигателе при сжигании единицы количества топлива. Размерность удельного показателя выброса – грамм ЗВ на килограмм топлива<sup>1</sup>, обозначение –  $EI$ . Удельный показатель выброса  $EI$  каждого загрязняющего вещества определяют для всех типов авиадвигателя экспериментально по принятой ИКАО стандартной методике при заданных характеристиках топлива и при определённых атмосферных условиях (в пересчёте на МСА).

В соответствии с действующими требованиями ИКАО регламентируется содержание в отработавших газах авиадвигателей оксида углерода ( $CO$ ), несгоревших углеводородов ( $C_nH_m$ ), оксидов азота ( $NO_x$ ) и показатель (число) дымности. Имеющиеся официальные сведения об удельных показателях выбросов  $EI$  нормируемых загрязняющих веществ для всех сертифицированных двигателей занесены в “Банк данных ИКАО по эмиссии выхлопных газов двигателей. Doc 9646-AN/943 ” [ 10 ]. Форма представления таких данных в “Банке данных ИКАО ...” на примере двигателя ПС-90А приведена в Приложении 1, значения удельных показателей выбросов для отечественных двигателей в Приложении 2, а для ряда иностранных авиадвигателей – в Приложении 3.

Кроме того, для оценки выбросов в атмосферу ЗВ используются данные о значениях удельных показателей выбросов  $CO$ ,  $C_nH_m$ ,  $NO_x$  для основных типов отечественных маршевых авиадвигателей и ВСУ, приведенные в “Отраслевых методических указаниях по расчёту вредных выбросов от авиадвигателей” (МАП СССР, 1989 г.) [ 11 ]. В них приведена более подробная градация режимов работы

<sup>1</sup> Исключением является показатель наличия твёрдых и жидких частиц (число дымности), определение и методика измерения которого см. в [2, 3б].

двигателей (см. Приложение 4), причём удельные показатели выбросов отнесены к единице времени (кг ЗВ за час работы).

Следует иметь в виду, что валовый выброс загрязняющего вещества авиадвигателем в атмосферу зависит не только от удельного показателя выброса соответствующего ЗВ, но и от топливной эффективности этого двигателя.

**"Индекс эмиссии"** – термин является дословным переводом английского выражения "emission index", которое широко применяется в материалах ИКАО. Правильным переводом следует считать отечественный термин "удельный показатель выброса". Использование в специализированной отечественной технической литературе термина "индекс эмиссии" нельзя считать корректным по следующей причине.

Слово "emission" переводится на русский язык как выделение, излучение и как распространение. В отечественной терминологии в области охраны окружающей среды от загрязнения используются два специальных термина "выделение" и "выброс", которые обозначают различные процессы: первый – образование загрязняющего вещества, а второй – поступление этого вещества в атмосферу из источника образования.

В общем случае выделившееся загрязняющее вещество может быть в большей или меньшей степени уловлено в газоочистном устройстве (оборудовании) и тогда выброс этого вещества в атмосферу уменьшается в соответствующей степени.

Поскольку неоднозначный перевод ведёт к ошибкам, то, в соответствии с ГОСТ 17.2.1.04-94, применение термина "эмиссия" в нашей стране признано недопустимым. Правильным является термин "удельный показатель выброса", широко используемый в природоохранной терминологии смежных с гражданской авиацией отраслях транспорта и иных сферах экономики нашей страны. При этом заимствование условного обозначения "EI" в технической документации отечественной ГА не вызывает ошибок.

Однако стремление гармонизировать отечественные стандарты с международными стандартами в сфере разработки, испытания, сертификации и применения авиационной техники привело к тому, что в АП-34 (МАК, 2003 г.) использован иностранный термин "эмиссия" в следующем словосочетании: «э м и с с и я с в ы х л о п н ы м и г а з а м и – *выброс в атмосферу загрязняющих веществ через сопло двигателя*». Таким образом, термин "эмиссия" в АП-34 имеет значение «выброс». Во избежание путаницы в данном пособии термин "эмиссия" по возможности не используется.

**Контрольный параметр выброса** в атмосферу. Негативное воздействие отработавших газов того или иного авиадвигателя на атмосферу в зоне аэропорта Международной организацией гражданской авиации ИКАО принято характеризовать отношением массы загрязняющих веществ, выброшенных в зоне аэродрома ( $M$ ) за взлётно-посадочный цикл, к взлётной тяге данного типа двигателя ( $F_{oo}$ ). Отношение  $M/F_{oo}$  называют контрольным параметром выброса в атмосферу некоего загрязняющего вещества для определённого типа двигателя [ 12 ].

Масса каждого загрязняющего вещества  $M$  (в кг), образовавшегося в авиадвигателе и выброшенного в атмосферу за полный ВПЦ, может быть рассчитана по зависимости:

$$M = \sum EI_i \cdot G_{\text{топл. } i} \cdot \tau_i, \quad (1)$$

где  $EI_i$  – удельный показатель выброса рассматриваемого загрязняющего вещества на  $i$ -м режиме работы двигателя;  
 $G_{\text{топл. } i}$  – расход топлива на  $i$ -м режиме работы двигателя;  
 $\tau_i$  – продолжительность  $i$ -го режима работы двигателя;  
 $i$  – режим работы двигателя в зоне аэропорта (этап ВПЦ).

Контрольный параметр выброса в атмосферу является удобной удельной характеристикой авиационного двигателя как абсолютной, так и относительной.

**Расчёт выброса авиадвигателями** продуктов сгорания топлива. Методология расчётного определения выбросов ЗВ при эксплуатации ГВС предполагает несколько уровней сложности методик, зависящих от решаемых задач и используемой при этом исходной информации. В соответствии с этими уровнями созданы и используются в природоохранной деятельности гражданской авиации:

- оценочные методики;
- методики усреднённой оценки;
- методика детальной оценки.

Примером оценочной (простейшей) методики расчёта выбросов ЗВ является методика САЕР (Doc САЕР/5-IP/22, 2001) [ 12 ] по определению массы парниковых газов, выделяемых при работе авиадвигателей, в зависимости от количества сожжённого авиатоплива  $G_{\text{топл.}}$ , которая (для случая применения стандартного авиакеросина) содержит следующие расчётные соотношения:

$$M_{CO_2} \text{ (кг)} = 3,15 \cdot G_{\text{топл.}} \text{ (кг)}; \quad (2)$$

$$M_{H_2O} \text{ (кг)} = 1,23 \cdot G_{\text{топл.}} \text{ (кг)}; \quad (3)$$

$$M_{SO_2} \text{ (кг)} = 0,0009 \cdot G_{\text{топл.}} \text{ (кг)}. \quad (4)$$

Методики усреднённой оценки предполагают использование заранее рассчитанных и обобщённых показателей выбросов ЗВ как по отдельным ингредиентам, так и по их сумме. Атмосферный воздух в районе аэропорта загрязняется выбросами оксидов углерода, азота, серы ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ )<sup>1</sup>, несгоревших углеводородов ( $C_nH_m$ ), дымом (включая сажу и иные частицы) от:

<sup>1</sup> Выброс в атмосферу соединений серы зависит от массовой доли серы в используемом топливе (см. [ 13 ] и Приложение 13), а также от расхода топлива.

- маршевых двигателей при выполнении самолётами взлётно-посадочных операций до высоты 914 м;
- вспомогательных силовых установок;
- маршевых двигателей при их опробовании в процессе ТО ВС.

Механизм и особенности образования ЗВ в авиадвигателях ВС подробно описаны в [ 2 ] .

В этом случае количество загрязняющего вещества (или суммы ЗВ), поступающего в атмосферу в зоне конкретного аэродрома от всех воздушных судов в течение определённого периода времени (за сутки, месяц, сезон, год) для каждого ЗВ могут быть рассчитаны по формуле:

$$M^{АП} = \sum M^{ВПЦ}_T \cdot N^{ВПЦ}_T + \sum M^{ОП}_T \cdot N^{ОП}_T, \quad (5)$$

- где  $M^{ВПЦ}_T$  – количество нормируемого ЗВ, выбрасываемое ВС типа "Т" за стандартный ВПЦ (см. прил.5);
- $M^{ОП}_T$  – количество нормируемого ЗВ, выбрасываемое за цикл опробования двигателей ВС типа "Т" (см. Приложение 6);
- $N^{ВПЦ}_T$  – количество ВПЦ, совершённых всеми ВС типа "Т" за рассматриваемый период времени;
- количество циклов опробования двигателей за рассматриваемый период времени (определяется по регламенту технического обслуживания ВС типа "Т" и наработки ВС, приписанных к данной авиационно-технической базе);
- $N^{ОП}_T$
- $T$  – индекс ВС соответствующего типа .

Приведены суммарные значения выбросов от всех маршевых двигателей и от ВСУ одного ВС указанного типа за стандартный ВПЦ в *Приложении 5*. Для отдельной оценки выбросов маршевых авиадвигателей при опробовании на земле и ВСУ следует пользоваться данными *Приложения 6* и *Приложения 7*.

Количество загрязняющего вещества от воздушных судов типа "Т", поступающее в атмосферу на крейсерских высотах (более 900 м) может быть рассчитано для каждого ЗВ по формуле:

$$M_T^{КрВ} = 0,001 \cdot EI_T^{КрВ} \cdot (G_{Т\ топл}^{\Sigma} - G_{Т\ топл}^{ВПЦ}), \quad (6)$$

- где  $EI_T^{КрВ}$  – удельный показатель выброса ЗВ для “крейсерских” условий полёта ВС типа "Т", г/кг топлива;
- $G_{Т\ топл}^{\Sigma}; G_{Т\ топл}^{ВПЦ}$  – расходы топлива двигателями ВС типа "Т" за весь полёт и за ВПЦ в базовом и конечном аэропорте, кг.

В связи с тем, что выбросы соединений серы в атмосферу с отработавшими газами прямо пропорциональны содержанию серы в топливе, удельный показатель выброса оксидов серы (г/кг топлива) на всех режимах работы авиадвигателей определяют по формуле:

$$EI_{SO_x} = 20 \cdot S, \quad (7)$$

где  $S$  – общее содержание серы в топливе в соответствии с паспортными данными топлива, например [ 13 ] и Приложение 13.

При определении выбросов ЗВ ВС ГА по оценочной методике и по методикам усреднённой оценки в качестве исходных данных рекомендуется использовать материалы действующего Указания ДВТ Минтранса России от 10.04.96 № ДВ-45/И "Об утверждении нормативов расхода топлива и технических скоростей на эксплуатацию воздушных судов" [ 14 ]. Выдержки из этого документа приведены в Приложении 8.

В случае, когда требуется оценить выбросы ЗВ для отечественных самолётов или вертолётов, фактические характеристики удельных нормативов выбросов которых остаются пока недостаточно изученными, допустимо использовать метод аналогий и (или) выбирать прототип ВС.

Таким образом, методы усреднённой оценки выбросов ЗВ авиадвигателями используют средние для двигателя данного типа показатели удельного образования и выброса ЗВ в атмосферу, а также осреднённые показатели режимов работы двигателей. Однако двигатели одного и того же типа имеют “экземплярный” разброс удельных показателей выброса ЗВ, обусловленный фактическими отклонениями в пределах установленных допусков:

- геометрических размеров конкретных экземпляров;
- в настройке системы автоматического регулирования.

Поэтому наиболее точные расчёты могут быть выполнены по методикам детальной оценки при использовании удельных показателей выбросов не средние для типа, а индивидуальные показатели для конкретного экземпляра ВС. При таком подходе необходимо использовать данные о фактической длительности режимов работы двигателей в условиях конкретного аэропорта, а также учитывать атмосферные условия (давление, температура и влажность воздуха) во время полёта (приложение 9). Расчёты при детальных оценках выбросов ведут с использованием ЭВМ и специальных расчётных программ.

При таком подходе для расчёта количества ЗВ, выброшенных в атмосферу конкретным экземпляром ВС при полёте на крейсерских высотах, используется формула:

$$M_{\text{э}} = \int_0^{t_n} EI_{\text{э}} \cdot G_{\text{э топл}} \cdot dt \quad (8)$$

- где  $EI_{\text{э}}$  – удельный показатель выброса ЗВ данного экземпляра двигателя на режимах полёта ВС на высотах более 914 м;
- $G_{\text{э топл}}$  – расход топлива двигателем экземпляра "э" на соответствующих режимах полёта ВС, кг;
- $t$  – текущее время полёта;
- $t_n$  – время полёта на высотах более 914 м.

Для детальной оценки выбросов ЗВ в зоне аэродрома, по методике ГосНИИ ГА (1991 г.) [ 15 ] необходимо знание таких характеристик как:

- технические характеристики конкретного двигателя (дрессельные характеристики, параметр форсирования и объём жаровой трубы камеры сгорания, частота вращения ротора и др.);
- атмосферные (метеорологические) условий в зоне аэропорта;
- качества используемого топлива;
- прочих конкретных данных.

Так, в частности, для учёта фактической температуры окружающей среды расчёт ведут по формуле:

$$M^{ЗВ}_t = M^{ЗВ}_{МСА} \cdot k_t, \quad (9)$$

где  $M^{ЗВ}_{МСА}$ ,  $M^{ЗВ}_t$  – количество (масса) ЗВ, выброшенного в атмосферу

при стандартной температуре МСА ( $= 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и при фактической температуре окружающей среды  $t$  соответственно;

$k_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды  $t$ .

В методике Европейского агентства по охране окружающей среды ЕМЕП/CORINAIR – 2001 [ 16 ] при детальном расчёте учитывается также дополнительная информация, например выполнение полёта ВС осуществляется по приборам или по правилам визуальных полётов и т.п.

Вполне очевидно, что получить исходные данные для подобных расчётов очень трудоёмко, дорого и, как следствие, экономически не оправдано. Поэтому в повседневной природоохранной деятельности авиапредприятий проведение столь точных расчётов вряд ли целесообразно. Такие расчёты используются для научно-исследовательских целей, при разработке путей совершенствования авиатехники и т.п.

Таким образом, описанные методики позволяют оценивать (рассчитывать) количество (массу) ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, на всех этапах полёта с момента запуска авиадвигателей ВС перед взлётом и до их выключения после посадки.

### 3. ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ

При рассмотрении примеров решения задач в данном разделе принято, что, если в условии задачи не указано иное, то с допустимой для учебных расчётов погрешностью можно:

- использовать данные об удельном выделении и выбросе ЗВ авиадвигателями, приведёнными в “Банке данных ИКАО ...” [ 10 ] , полученные (пересчитанные) для условий МСА;
- считать ВПЦ указанных в задачах ВС соответствующими условному (стандартному) ВПЦ, принятому ИКАО для нормирования.

Условная схема полёта самолёта, поясняющая условия примеров, приведена приложение 10.

В разделе используется понятие «валовый выброс» некоего вещества, которое означает – общее (суммарное ) количество загрязняющего вещества, поступающего в атмосферу за определённый интервал времени (год, месяц, сутки, час) или за время некоего цикла, этапа и т.п.

#### ***ПРИМЕР 1.***

Самолёт Ил-96-300 после запуска 4-х маршевых двигателей типа ПС-90А (прил. 9) выруливал по территории аэродрома на место начала разбега перед взлётом в течение 19 мин (*этап А* прил. 10).

Определить величину валового выброса монооксида углерода (СО) на этапе малого газа (без учёта выбросов ВСУ), считая ВПЦ стандартным.

#### ***Решение.***

Для двигателей типа ПС-90А величина удельного показателя выброса СО на режиме руления (малого газа) по данным “Банка данных ИКАО ... “ (прил. 2) составляет 6,90 г/кг при расходе топлива в каждом двигателе – 0,178 кг/с.

Валовый выброс СО всеми двигателями самолёта вычислим по уравнению ( 1 ):

$$M^{CO} = \sum EI_{\text{м.г.}}^{CO} \cdot G_{\text{топл. м.г.}} \cdot \tau_{\text{м.г.}} = 4 \cdot 6,90 \cdot 0,178 \cdot 19 \cdot 60 = 5,6 \text{ кг (за этап руления перед взлётом)}$$

#### ***ПРИМЕР 2.***

Самолёт Ил-96-300 совершал действия, указанные в примере 1, при температуре воздуха на аэродроме минус 15 °С.

Определить величину валового выброса монооксида углерода (СО) в этих условиях, считая ВПЦ стандартным, а атмосферные условия отличающимися от МСА только по температуре.

**Решение.**

Валовый выброс CO двигателями самолёта для условий МСА, как видно из решения в примере 1, составил 5,6 кг за этап руления к месту начала разбега. Используя поправки на температуру окружающего воздуха для двигателей типа ПС-90А, приведённые в прил. 11 вычислим величину валового выброса CO в заданных условиях по уравнению (9):

$$M^{CO}_t = M^{CO}_{МСА} \cdot k_t = 5,6 \cdot 1,61 = 9,016 \text{ кг за этап}$$

**ПРИМЕР 3.**

В аэропорту за сутки прилетают и улетают 27 самолётов Ил-96-300, оснащённых двигателями типа ПС-90А, (этапы А, Б, В, И и К прил. 10).

Определить величину валового выброса монооксида углерода (CO) в атмосферу в зоне аэропорта самолётами указанного типа, считая, что они совершают стандартные ВПЦ.

**Решение.**

Для двигателей типа ПС-90А величины удельных показателей выброса CO, расходы топлива на этапах ВПЦ и их длительность по данным “Банка данных ИКАО ... “ (прил. 2) составляют:

РЕЖИМ	УДЕЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ВЫБРОСА CO, г/кг	РАСХОД ТОПЛИВА, кг/с	ВРЕМЯ, мин
ВЗЛЁТ	0,35	1,739	0,7
НАБОР ВЫСОТЫ	0,40	1,431	2,2
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	0,90	0,489	4,0
МАЛЫЙ ГАЗ	6,90	0,178	26,0

Валовый выброс CO всеми 4-мя двигателями одного самолёта за полный ВПЦ вычислим по уравнению ( 1 )

$$M^{CO} = \sum EI_i^{CO} \cdot G_{топл.i} \cdot \tau_i = 4 \cdot \{ 0,35 \cdot 1,739 \cdot 0,7 \cdot 60 + 0,40 \cdot 1,431 \cdot 2,2 \cdot 60 + 0,90 \cdot 0,489 \cdot 4,0 \cdot 60 + 6,90 \cdot 0,178 \cdot 26 \cdot 60 \} = 8,5 \text{ кг}$$

Тогда валовый выброс CO в аэропорту от самолётов такого типа в количестве N шт составит:

$$M_{\Sigma}^{CO} = N \cdot 8\,490,96 = 27 \cdot 8\,490,96 = 229\,255,92 \text{ г} \approx 230 \text{ кг.}$$

**ПРИМЕР 4.**

Самолёт Ил-96-300 с двигателями ПС-90А и ВСУ-10, совершая рейс Москва – Хабаровск, летел на высотах более 900 м на расстояние 6 169 км со средней скоростью относительно земли 858 км/ч (этапы Г, Д, Е и З прил.

10). За весь рейс было израсходовано 61600 кг топлива (прил. 8). Во время крейсерского полёта маршевые авиадвигатели работали в таком же режиме, как и на этапе набора высоты стандартного ВПЦ .

Определить:

- величину валового выброса монооксида углерода (СО) воздушным судном на высотах более 900 м за весь полёт;
- интенсивность выброса СО самолётом за час;
- долю (в %) валового выброса СО на высотах более 900 м от общего валового выброса СО за весь рейс.

Решение.

Количество топлива, израсходованного ВС при полёте на высотах более 900 м, рассчитаем, используя данные, приведённые в решении примера № 3, и данные, что масса сжигаемого топлива при работе ВСУ Ил-96-300 равна 210 кг за один самолёто-вылет (см. прил. 7 ), а именно:

$$G_{\text{топл}}^{\text{ВПЦ}} = 4 \cdot (1,739 \cdot 0,7 + 1,431 \cdot 2,2 + 0,489 \cdot 4,0 + 0,178 \cdot 26,0) \cdot 60 + 210 \\ = 4 \cdot 10,9495 \cdot 60 + 210 = 2\,627,88 + 210 = 2\,837,88 \approx 2\,840 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{топл}}^{\text{высот}} = G_{\text{топл}}^{\Sigma} - G_{\text{топл}}^{\text{ВПЦ}} = 61600 - 2\,840 = 58760 \text{ кг.}$$

Для двигателей типа ПС-90А величина удельного показателя выброса СО на режиме набора высоты по данным “Банка данных ИКАО ...“ (прил. 2) составляет 0,40 г/кг топлива. Следовательно величину валового выброса СО на высотах более 900 м можно вычислить по уравнению ( 6 ):

$$M_{\text{CO}}^{\text{КрВ}} = 0,001 \cdot EI_{\text{CO}}^{\text{КрВ}} \cdot (G_{\text{T топл}}^{\Sigma} - G_{\text{T топл}}^{\text{ВПЦ}}) = 0,001 \cdot 0,40 \cdot 58760 = \\ = 23,504 \text{ кг за время полёта на высотах более 900 м.}$$

Валовый выброс СО всеми 4-мя авиадвигателями одного самолёта за полный ВПЦ (как было рассчитано в примере № 3) составляет 8 491 г, а выброс СО при работе ВСУ за один самолёто-вылет – 0,848 кг (см. данные для ВСУ-10 в прил. 7). Следовательно, общий валовый выброс СО за весь рейс ВС можно вычислить как сумму

$$M_{\text{CO}}^{\Sigma} = M_{\text{CO}}^{\text{АД}} + M_{\text{CO}}^{\text{ВСУ}} + M_{\text{CO}}^{\text{КрВ}} = 8\,491 + 848 + 23\,504 = \\ = 32,8 \text{ кг за весь рейс.}$$

Поскольку время полёта ВС на высотах более 900 м составило  $\frac{6169}{858} = 7,19$  часов минус 32,9 мин - время ВПЦ, то валовый выброс СО двигателями самолёта за 1 час вычислим как:

$$M_{\text{CO}} = \frac{23,504}{(7,19 - 0,55)} = 3,539 \text{ кг/час.}$$

Долю валового выброса CO на высотах более 900 м от общего валового выброса CO за весь рейс ВС определим следующим образом:

$$\frac{23,504}{32,843} \cdot 100 = 71,56 \approx 72\%$$

### **ПРИМЕР 5.**

Самолёт Ил-96-300 после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 10 100 м (см. прил. 12) со средней вертикальной скоростью подъёма 600 м/мин.(10м/с) (этап Г прил. 10).

Определить величины валового выброса монооксида углерода (CO) в атмосферу:

- за время всего подъёма до высоты крейсерского полёта 10 100 м;
- на высотах от 8 100 до 10 100 м.

#### **Решение.**

Для двигателей типа ПС-90А, которыми оснащён Ил-96-300 величина удельного показателя выброса CO на режиме подъёма (0,8 взлётного режима) по данным “Банка данных ИКАО ... “ ( [10] и Приложение 2) составляет  $0,35 \cdot 0,8 = 0,28$  г/кг при расходе топлива в каждом двигателе –  $1,739 \cdot 0,8 = 1,391$  кг/с.

Режим работы двигателей во время подъёма - 0,8 от взлётного режима

Определим время полёта (подъёма) самолёта :

- от высоты 900 м до высоты 10 100 м:

$$t_{\text{подъёма}} = \frac{(10100 - 900)}{600} = 15,33 \text{ мин};$$

- от высоты 8 100 м до высоты 10 100 м :

$$t_{\text{подъёма}} = \frac{(10100 - 8100)}{600} = 3,33 \text{ мин.}$$

Валовый выброс CO 4-мя двигателями самолёта вычислим по уравнению ( 1 ):

- за время полного подъёма

$$M^{\text{CO}} = \sum EI_{\text{подъём}}^{\text{CO}} \cdot G_{\text{топл. подъём}} \cdot \tau_{\text{подъём}} = 4 \cdot 0,28 \cdot 1,391 \cdot 15,33 \cdot 60 = 1\,432,97 \text{ г};$$

- за время подъёма от 1 эшелона (8100) до 2 эшелона 10100 (через эшелон 8600, 9100, 9600 – см. прил. 12 )

$$M^{\text{CO}} = \sum EI_{\text{эшелон}}^{\text{CO}} \cdot G_{\text{топл. эшелон}} \cdot \tau_{\text{эшелон}} = 4 \cdot 0,28 \cdot 1,391 \cdot 3,33 \cdot 60 = 311,27 \text{ г.}$$

### **ПРИМЕР 6.**

Самолёт Ил-96-300, совершая рейс Москва – Хабаровск, после подъёма на высоту эшелона 10 100 м совершил горизонтальный крейсерский полёт на расстояние 6 169 км минус 100 км ВПЦ со средней скоростью относительно земли 858 км/ч (*этап Д* прил. 10).

Определить величину валового выброса монооксида углерода (СО) за время горизонтального полёта (на эшелоне 10 100 м).

#### **Решение.**

Для двигателей типа ПС-90А величина удельного показателя выброса СО на режиме крейсерского полёта по данным “Банка данных ИКАО ... “ ( [10] и Приложение 2) составляет  $0,35 \cdot 0,5 = 0,175$  г/кг при расходе топлива в каждом двигателе –  $1,739 \cdot 0,5 = 0,8695$  кг/с.

Режим работы двигателей во время крейсерского полёта – 0,5 от взлётного режима.

Вычислим время горизонтального полёта самолёта:

$$\frac{6069}{858} = 7,07 \text{ часов} = 424 \text{ мин} = 25\,452 \text{ сек}$$

Валовый выброс СО всеми 4-мя двигателями самолёта за время горизонтального полёта вычислим по уравнению ( 1 )

$$M^{\text{CO}} = \sum EI_{\text{кр.пол.}}^{\text{CO}} \cdot G_{\text{топл. кр.пол.}} \cdot \tau_{\text{кр.пол.}} = 4 \cdot 0,175 \cdot 0,8695 \cdot 25452 = \\ = 15491,36 \text{ г.}$$

### **ПРИМЕР 7.**

Аэропорт ежемесячно принимает и отправляет 830 рейсов, из которых 305 рейсов выполняются самолётами Ил-96-300, а остальные 525 – самолётами Ту-154М, при этом перед выполнением каждого пятого рейса в наземных условиях проводится опробование всех авиадвигателей ВС.

Определить:

- величину валового (за месяц) выброса монооксида углерода (СО) воздушными судами в зоне аэропорта;
- долю (в %) валового выброса СО от работы ВСУ ВС.

#### **Решение.**

Выделение СО двигателями и ВСУ самолётов совершающих рейсы из заданного аэропорта в соответствии с данными ГосНИИ ГА (см. прил. 5 и прил. 6) составляют:

Тип ВС	Тип двигателя	Кол-во двигателей на ВС, шт	Количество выбрасываемого СО, кг /цикл		Тип ВСУ	Количество СО, выбрасываемого ВСУ за один самолёто-вылет, кг
			за один цикл операций опробования маршевого двигателя	за один стандартный ВПЦ ВС		
Ту - 154М	Д-30КУ-154	3	7,069	67,4	ТА-6А	4,825
Ил - 96 - 300	ПС-90А	4	0,733	8,5	ВСУ-10	0,848

Валовый выброс СО двигателями и ВСУ самолётов за месяц вычислим по уравнению ( 5 ):

для ВС типа Ту – 154М

$$M^{АП}_{Ту} = \sum M^{ВПЦ}_{Ту} \cdot N^{ВПЦ}_{Ту} + \sum M^{ОП}_{Ту} \cdot N^{ОП}_{Ту} =$$

$$= 67,4 \cdot 525 + 7,069 \cdot 3 \cdot \left( \frac{525}{5} \right) = 37,6 \text{ т};$$

для ВС типа Ил – 96 – 300

$$M^{АП}_{Ил} = \sum M^{ВПЦ}_{Ил} \cdot N^{ВПЦ}_{Ил} + \sum M^{ОП}_{Ил} \cdot N^{ОП}_{Ил} =$$

$$= 8,5 \cdot 305 + 0,733 \cdot 4 \cdot \left( \frac{305}{5} \right) = 2,8 \text{ т}$$

Суммарный валовый (месячный) выброс СО в аэропорту всеми ВС определим суммированием значений, полученных для рассмотренных типов ВС:

$$M^{АП}_{\Sigma} = M^{АП}_{Ту} + M^{АП}_{Ил} = 37\,612 + 2\,771,4 = 40\,383,4 \text{ кг} \approx 40,4 \text{ т}.$$

Валовый выброс СО от работы только ВСУ ВС рассчитаем следующим образом:

$$M^{ВСУ}_{\Sigma} = M^{ВСУ}_{Ту} \cdot N^{ВПЦ}_{Ту} + M^{ВСУ}_{Ил} \cdot N^{ВПЦ}_{Ил} =$$

$$4,825 \cdot 525 + 0,848 \cdot 305 = 2\,533 + 258,6 = 2\,791,6 \text{ кг} \approx 2,8 \text{ т}.$$

Тогда определим, что доля валового выброса СО от работы ВСУ ВС составляет

$$\left( \frac{M^{ВСУ}_{\Sigma}}{M^{АП}_{\Sigma}} \right) \cdot 100 = \left( \frac{2791,6}{40383,4} \right) \cdot 100 = 6,9\% .$$

### **ПРИМЕР 8.**

Рейс по маршруту Москва–Лондон–Москва совершил самолёт Ил-96-300, при этом каждым двигателем типа ПС-90А было израсходовано в среднем по 12,8355 т топлива марки РТ (см. прил. 13).

Определить величину валового (за весь рейс) выброса в атмосферу оксидов серы (в пересчёте на SO<sub>2</sub>) от одного маршевого двигателя ВС.

#### **Решение.**

Поскольку в условиях задачи не указано точное значение концентрации соединений серы в топливе, которым был заправлен самолёт, то воспользуемся информацией о действующих требованиях, предъявляемых к качеству реактивных топлив, приведённой в прил. 13 – для топлива марки РТ массовая доля серы должна быть не более 0,1 %.

Следовательно по уравнению ( 7 ) можно определить максимально возможное значение удельного показателя выброса в атмосферу соединений серы (в пересчёте на диоксид серы), а именно

$$EI_{SO_x} = 20 \cdot S = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ г/кг топлива.}$$

Тогда, величину валового выброса в атмосферу оксидов серы от одного маршевого двигателя рассчитаем, используя уравнение ( 1 ) и считая, что  $G_{топл. i} \cdot \tau_i = G_{топл. \Sigma}$

$$M_{SO_x} = EI_{SO_x} \cdot G_{топл. \Sigma} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 12\,835,5 = 25,7 \text{ кг SO}_2 \text{ за весь рейс.}$$

### **ПРИМЕР 9.**

Самолёт Ил-96-300 совершил полёт, условия которого описаны в примере № 4.

Определить: величины валовых выбросов в атмосферу парникового газа CO<sub>2</sub> в зоне аэродрома и за время полёта на высотах более 900 м.

#### **Решение.**

При всех режимах работы авиадвигателей, на всех этапах и во всех условиях полёта ВС выброс продуктов полного сгорания углеводородов (CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O) стандартного авиатоплива строго пропорционален расходу топлива и может быть рассчитан по уравнениям ( 2 и 3 ), поэтому, воспользовавшись результатами промежуточных расчётов, проведённых в примере №4, по формуле ( 2 ) определим искомые величины валовых выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, а именно:

- валовый выброс в зоне аэродрома (при выполнении ВПЦ)

$$M_{CO_2}^{ВПЦ} = 3,15 \cdot G_{топл}^{ВПЦ} = 3,15 \cdot 2\,840 = 8\,946 \text{ кг} \approx 9 \text{ т};$$

- валовый выброс на высотах более 900 м

$$M_{CO_2}^{высот} = 3,15 \cdot G_{топл}^{высот} = 3,15 \cdot 58\,760 = 185\,094 \text{ кг} \approx 185 \text{ т.}$$

### ***ПРИМЕР 10.***

Самолёт Ил-96-300 с 4-мя двигателями ПС-90А и вспомогательной силовой установкой ВСУ-10 выполнил промежуточную остановку в аэропорту Хитроу (Лондон) для дозаправки, при этом он совершил на аэродроме стандартный ВПЦ при условиях МСА.

#### **Определить:**

- суммарную величину валовых выбросов в атмосферу всех ЗВ, нормируемых по правилам ИКАО за стандартный ВПЦ;
- валовый выброс углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в зоне аэродрома.

#### **Решение.**

Для двигателей типа ПС-90А величины удельных показателей выброса ЗВ, расходы топлива на этапах ВПЦ и их длительность по данным “Банка данных ИКАО ... “ (прил. 2) составляют:

Режим	Время, мин	Расход топлива, кг/с	Удельный показатель выброса, г/кг		
			СН	СО	NO <sub>x</sub>
взлёт	0,7	1,739	0,12	0,35	37,0
набор высоты	2,2	1,431	0,12	0,40	31,5
заход на посадку	4,0	0,489	0,20	0,90	11,8
малый газ	26,0	0,178	0,30	6,90	5,8

Для выполнения расчётов используем стандартную компьютерную программу Microsoft Excel (электронные таблицы).

Чтобы произвести расчёт выбросов на различных этапах полёта от заданного ВС необходимо используя стандартные операции Excel последовательно выполнить следующее:

1. создать таблицу в Excel по форме указанной на рис. 2;

2. внести данные конкретного типа ВС, а также наименования режимов полёта, время каждого режима, расход топлива на определённом режиме, индексы эмиссии для конкретного режима и загрязняющего вещества (рис. 3);

3. необходимо рассчитать массу выбросов для каждого вещества на всех этапах полёта по формулам, указанным в пособии или на рисунке ниже, вводя их в окне формул по правилам ввода Excel (рис. 4);

4. просуммировать выбросы конкретного загрязняющего вещества на всех этапах полёта, используя окно ввода формул в Excel, как показано на рисунке (рис. 5);

5. на основании всех вышеперечисленных пунктов заполнить таблицу (рис. 6).

- суммарная величина валовых выбросов в атмосферу всех ЗВ за стандартный ВПЦ:

Тип ВС	Тип АД	Количество АД на ВС	Режим работы АД	Время, минуты	Расход топлива на конкретном режиме, кг/с	Индексы эмиссии, г/кг		
						HC	CO	NOx
Ил-96-300	ПС-90А	4	взлёт	0,7	1,739	0,12	0,35	37
			набор высоты	2,2	1,432	0,12	0,4	31,5
			заход на посадку	4	0,489	0,2	0,9	11,8
			малый газ	26	0,178	0,3	6,9	5,8
			<b>Итого масса выброса на конкретном режиме работы АД:</b>	0,584	1,704	180,16		
				1,5122	5,041	396,95		
				1,5648	7,042	92,32		
				5,5536	127,73	107,37		
<b>Суммарная масса:</b>	<b>9,2146</b>	<b>141,517</b>	<b>776,8</b>					

- выбросы в зоне аэродрома CO<sub>2</sub> - при выполнении ВПЦ (см. пример 9):

$$M_{CO_2}^{ВПЦ} = 3,15 \cdot G_{топл}^{ВПЦ} = 3,15 \cdot 2\,840 = 8\,946 \text{ кг} \approx 9 \text{ т};$$

Создать форму таблицы в области листа, поочерёдно заполняя ячейки A1, B1, C1, D1, E1, F1-2, G-I 1, G2, H2, I2, как показано на рис. 2, где активирована ячейка D1, в которой выполнена запись «Режим».

D1 = Режим									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Тип ВС	Тип АД	Количество АД	Режим	Время, минуты	Расход топлива на	Индексы эмиссии, г/кг		
2						конкретном режиме, кг/с	HC	CO	NOx
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

**Рис. 2 Шаблон оформления таблицы в Excel для расчёта выбросов на различных этапах полёта от конкретного ВС (первый этап)**

Заполнить ячейки в соответствии с исходными данными задания, как показано на рис. 3

А6 = Ил-96-300									
	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І
1	Тип ВС	Тип АД	Количество АД	Режим	Время, минуты	Расход топлива на	Индексы эмиссии, г/кг		
2						конкретном режиме, кг/с	НС	СО	NO <sub>x</sub>
4				взлёт (Б)	0,7	1,739	0,12	0,35	37
5				набор высоты (В)	2,2	1,432	0,12	0,4	31,5
6	Ил-96-300	ПС-90А	4	заход на посадку (И)	4	0,489	0,2	0,9	11,8
7				малый газ (А,К)	26	0,178	0,3	6,9	5,8
8									
9									
10									
11									
12									

Рис. 3 Второй этап расчёта выбросов на различных этапах полёта от конкретного ВС

3.10.3. Произвести расчёт массы выбросов углеводородов (НС) всеми четырьмя АД на этапе взлёта, для чего в таблице на экране монитора ПЭВМ активировать ячейку G8, затем перевести курсор в строку формул и в соответствии с уравнением ( 1 ), а именно  $M = \sum EI^{HC}_i \cdot G_{топл. i} \cdot \tau_i$ , а также с учётом размерности его членов записать " = C6 \* E4 \* F4 \* G4 \* 60 \* 0,001 " как показано на рис. 4 .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Тип ВС	Тип АД	Количество АД	Режим	Время, минуты	Расход топлива на	Индексы эмиссии, г/кг		
2						конкретном режиме, кг/с	НС	СО	NOx
4				взлёт (Б)	0,7	1,739	0,12	0,35	37
5				набор высоты (В)	2,2	1,432	0,12	0,4	31,5
6	Ил-96-300	ПС-90А	4	заход на посадку (И)	4	0,489	0,2	0,9	11,8
7				малый газ (А,К)	26	0,178	0,3	6,9	5,8
8						Масса выброса от всех АД на конкретном режиме:	0,0350582		
9									
10									
11									
12						Суммарная масса:			

Рис. 4. Вид таблицы в программе Excel при расчёте выбросов углеводородов (НС) на этапе взлёта ВС после введения расчётного уравнения в строку формул (показана часть изображения на экране монитора ПЭВМ) – третий этап расчёта

3.10.4. Произвести расчёт суммарной массы выбросов углеводородов (НС) всеми четырьмя АД на всех этапах ВПЦ ВС, для чего:

- по аналогии с указаниями п. 3.10.3. произвести расчёт выбросов углеводородов (НС) на всех этапах ВПЦ (в таблице на экране монитора ПЭВМ поочерёдно заполнить ячейки G9 – G11);
- произвести расчёт суммарной массы выбросов углеводородов (НС) за весь ВПЦ, активировав в таблице на экране монитора ПЭВМ ячейку G12 и записав в строке формул " = G8 + G9 + G10 + G11 ", как показано на рис. 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Тип ВС	Тип АД	Количество АД	Режим	Время, минуты	Расход топлива на	Индексы эмиссии, г/кг		
2						конкретном режиме, кг/с	НС	СО	NOx
4				взлёт (Б)	0,7	1,739	0,12	0,35	37
5				набор высоты (В)	2,2	1,432	0,12	0,4	31,5
6	Ил-96-300	ПС-90А	4	заход на посадку (И)	4	0,489	0,2	0,9	11,8
7				малый газ (А,К)	26	0,178	0,3	6,9	5,8
8						Масса выброса от всех	0,0350582		
9						АД на конкретном	0,0907315		
10						режиме:	0,093888		
11							0,333216		
12						Суммарная масса:	0,552894		

Рис. 5. Вид таблицы в программе Excel при расчёте суммарной массы выбросов углеводородов (НС) всеми четырьмя АД на всех этапах ВПЦ ВС (показана часть изображения на экране монитора ПЭВМ) – четвёртый этап расчёта

3.10.5. Произвести расчёт суммарной массы выброса остальных ЗВ ( СО и NO<sub>x</sub> ) всеми АД на всех этапах ВПЦ ВС, для чего по аналогии с указаниями п.п. 3.10.3 и 3.10.4 в таблице на экране монитора ПЭВМ поочередно заполнить ячейки Н (8 – 12) и I (8 – 12), как показано на рис. 6.

I12 = I8+I9+I10+I11									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Тип ВС	Тип АД	Количество АД	Режим	Время, минуты	Расход топлива на	Индексы эмиссии, г/кг		
2						конкретном режиме, кг/с	HC	CO	NO <sub>x</sub>
4				взлёт (Б)	0,7	1,739	0,12	0,35	37
5				набор высоты (В)	2,2	1,432	0,12	0,4	31,5
6	Ил-96-300	ПС-90А	4	заход на посадку (И)	4	0,489	0,2	0,9	11,8
7				малый газ (А,К)	26	0,178	0,3	6,9	5,8
8						<b>Масса выброса от всех</b>	0,0350582	0,102253	10,8096
9						<b>АД на конкретном</b>	0,0907315	0,302438	23,817
10						<b>режиме:</b>	0,093888	0,422496	5,53939
11							0,333216	7,663968	6,44218
12						<b>Суммарная масса:</b>	<b>0,552894</b>	<b>8,49116</b>	<b>46,608</b>

Рис. 6. Вид таблицы в программе Excel после окончания расчётов (показана часть изображения на экране монитора ПЭВМ) – пятый этап расчёта

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Провести расчёты и выполнить задания по приведённым вариантам исходных данных, пользуясь характеристиками ВС, АД, ВСУ и прочими справочными материалами, приведёнными в приложениях к данному пособию.

При решении задач, приведённых в данном разделе, с допустимой для учебных расчётов погрешностью можно:

- использовать данные об удельном выделении и выбросе ЗВ авиадвигателями, приведёнными в “Банке данных ИКАО ...” [ 5 ], полученные (пересчитанные) для условий МСА;
- считать ВПЦ указанных в задачах ВС соответствующими стандартному ВПЦ, условно принятому ИКАО для нормирования.

Схема выполнения полёта самолёта, поясняющая условия заданий, приведена в приложении 10.

Определение понятия «валовый выброс» вещества приведено в начале раздела 3.

При необходимости разделить суммарное время этапа «Руление» стандартного ВПЦ (принятое ИКАО равным 26 мин) считать, что перед взлётом ВС его АД работают 7 мин, а после посадки – 19 мин.

При выполнении заданий рекомендуется использовать электронные таблицы стандартной программы Microsoft Excel.

### 4.1. Задания начального уровня

4.1.1. Рассчитать валовый выброс  $C_nH_m$  от 2-х маршевых двигателей самолёта Ту-154Б за стандартный ВПЦ.

4.1.2. Рассчитать валовый выброс  $NO_x$  от 4-х маршевых двигателей типа НК-86 самолёта Ил-86 на этапе снижения с высоты 900 м при температуре окружающей среды на аэродроме – минус 25 °С.

4.1.3. Рассчитать валовый выброс CO от 2-х маршевых двигателей типа НК-86 самолёта Ил-86 на этапе захода на посадку.

4.1.4. Рассчитать суммарный валовый выброс CO,  $NO_x$  на этапе взлёта самолёта Ту-154М.

4.1.5. Рассчитать суммарный валовый выброс CO,  $C_nH_m$ ,  $NO_x$  от ВСУ самолёта Ту-154М за 21 стандартный ВПЦ.

4.1.6. Рассчитать суммарный валовый выброс CO,  $C_nH_m$ ,  $NO_x$  самолёта Як-42 за 18 циклов опробования маршевых двигателей в наземных условиях.

4.1.7. Рассчитать валовый выброс CO от самолёта Ан-24 за 11 стандартных ВПЦ и 15 циклов операций опробования маршевых двигателей в наземных условиях.

4.1.8. Рассчитать максимальный валовый выброс  $SO_x$  от самолётов Ан-24 за выполненные в 2005 г. 567 циклов операций опробования маршевых двигателей в наземных условиях при условии, что использовалось только топлива 1-й категории качества марки ТС-1.

4.1.9. Рассчитать валовый выброс паров воды от самолётов Ту-204 за выполненные в 2004 г. 175 циклов операций опробования маршевых двигателей в наземных условиях.

4.1.10. Рассчитать валовый выброс CO от 1-го маршевого двигателя типа НК-86 самолёта Ил-86 на этапе руления при температуре окружающей среды на аэродроме – плюс 35 °С.

4.1.11. Рассчитать суммарный валовый выброс CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NO<sub>x</sub> от ВСУ самолёта Ил-62 за 43 стандартных ВПЦ.

4.1.12. Рассчитать суммарный валовый выброс CO и NO<sub>x</sub> от 2-ух маршевых двигателей типа Д-30 самолёта Ту-134 на этапе взлёта.

4.1.13. Рассчитать суммарный валовый выброс C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NO<sub>x</sub> от всех маршевых двигателей типа НК-86 самолёта Ил-86 на этапе захода на посадку.

4.1.14. Рассчитать суммарный валовый выброс CO и C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> от ВСУ самолёта Ил-76 за 36 стандартных этапов малого газа при температуре окружающей среды на аэродроме – плюс 25 °С.

4.1.15. Рассчитать валовый выброс C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> от 4-х маршевых двигателей типа НК-86 самолёта Ил-86 на этапе набора высоты до 900 м при температуре окружающей среды на аэродроме – плюс 5 °С.

## ***4.2. Задания средней сложности***

4.2.1. Аэропорт за сутки принял и отправил 30 иностранных ВС, каждый с 3-мя АД типа CFM56-35F3, и 15 иностранных ВС, каждый с 2-мя АД типа PW2040. Рассчитать валовый (суточный) выброс всех нормируемых ИКАО ЗВ от всех маршевых двигателей в зоне аэропорта.

4.2.2. Самолёты типа Ил-96 дважды в неделю совершают полёты по маршруту "Пункт А" – "Пункт Б" (на расстояние 10 300 км) и обратно. Рассчитать годовой выброс оксидов углерода CO<sub>2</sub> без учёта температуры окружающей среды.

4.2.3. Аэропорт за сутки принял и отправил 35 ВС типа Ил-76ТД в дневное время при температуре окружающей среды 0 °С и 8 ВС типа Ил-76ТД в вечернее и ночное время при температуре окружающей среды минус 15 °С. Рассчитать валовый (суточный) выброс оксидов углерода CO маршевыми двигателями на этапах руления всех ВС.

4.2.4. Аэропорт за один день марта принимал и отправил в среднем 23 ВС типа Ил-62М. Рассчитать валовый выброс CO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> маршевыми АД и ВСУ всех самолётов в зоне аэропорта за этот месяц при стандартном ВПЦ. Определить на сколько изменятся выбросы CO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> при повышении средней температуры месяца на 15 °С.

4.2.5. ВС типа Ту-154М 7 раз в месяц совершает полёт по маршруту на расстояние 6 300 км и обратно. Рассчитать годовой выброс оксидов азота NO<sub>x</sub> на этапе малого газа без учёта температуры окружающей среды.

4.2.6. Аэропорт за месяц принял и отправил 19 иностранных ВС, каждый с 2-мя АД типа PW 2040, и 41 иностранный ВС, каждый с 4-мя АД типа CFM

56-35F3. Рассчитать валовый выброс всех нормируемых ИКАО ЗВ от всех маршевых двигателей в зоне аэропорта за месяц.

4.2.7. ВС типа Ту-154М 123 раза за полгода совершает полёт по маршруту на расстояние 5 600 км и обратно. Рассчитать выброс углеводородов  $C_nH_m$  за этот период в зоне аэропорта с учётом температуры окружающей среды – плюс 5 °С.

4.2.8. Аэропорт за сутки принял и отправил 11 ВС типа Ил-76ТД в дневное время при температуре окружающей среды плюс 15 °С и 3 ВС типа Ил-86 в вечернее и ночное время при температуре окружающей среды плюс 5 °С. Рассчитать валовый (суточный) выброс углеводородов  $C_nH_m$  маршевыми двигателями на этапе взлёта от всех ВС.

4.2.9. ВС типа Ту-134 5 раз в неделю совершает полёт по маршруту на расстояние 3 700 км. Рассчитать годовой выброс на этапе захода на посадку оксидов азота  $NO_x$  за этот период с учётом температуры окружающей среды – плюс 35 °С.

4.2.10. ВС типа Ту-204 23 раз в месяц совершает полёт по маршруту на расстояние 6 900 км и обратно. Рассчитать выброс углеводородов  $C_nH_m$  за 4 месяца на этапах взлёта и набора высоты без учёта температуры окружающей среды.

4.2.11. ВС типа Ту-134 16 раз в месяц совершает полёт по маршруту на расстояние 3 100 км и обратно. Рассчитать выброс углеводородов  $C_nH_m$  за 5 лет на этапах взлёта и малого газа без учёта температуры окружающей среды.

4.2.12. Аэропорт за один день марта принял и отправил в среднем 3 ВС типа Ту-204. Ту-204 совершает полёт по маршруту на расстояние 6300 км. Рассчитать валовый выброс  $CO_2$  и  $SO_2$  от всех маршевых двигателей за 21 день с учётом температуры окружающей среды плюс 5 °С.

4.2.13. Самолёт Ту-134 совершает в аэропорту 40 стандартных ВПЦ. Определить массу выбросов  $CH_4$ ,  $NO_x$ ,  $C_nH_m$  с поправкой на температуру в зоне аэропорта – минус 15 °С, с учётом того, что каждый восьмой ВПЦ происходил с выполнением опробования двигателей в наземных условиях.

4.2.14. В аэропорте 19 Ил-86 и 23 Ил-96 совершают стандартный ВПЦ. Необходимо рассчитать массу выбросов  $CH_4$ ,  $NO_x$ ,  $C_nH_m$  с поправкой на температуру в зоне аэропорта – минус 25 °С.

4.2.15. Аэропорт принимает и отправляет 14 ВС типа Ил-204, каждый в месяц совершает по 20 рейсов. Необходимо определить по методике САЕР валовый выброс  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2O$  от всех маршевых двигателей всех ВС, если учесть, что один двигатель расходует за рейс 10 тонн топлива.

### ***4.3. Задания повышенной сложности***

4.3.1. 25 Ту-134 совершают стандартный ВПЦ и далее полёт по маршруту протяжённостью 3600 км. Определить суммарную массу выбросов  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $C_nH_m$ , как на всех этапах ВПЦ, так и при горизонтальном полёте по маршруту, считая что в это время все двигатели работают в режиме 0,5 от взлётного режима.

4.3.2. Самолёт Ту-204 совершая рейс, летит на высотах более 900 м 4500 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме захода на посадку. Определить: а) величину валового выброса  $\text{NO}_x$  на высотах более 900 м; б) долю (в %) валового выброса  $\text{NO}_x$  на высотах более 900 м от общего валового выброса  $\text{NO}_x$  за весь рейс.

4.3.3. 40 ВС типа Ил-86 совершают стандартный ВПЦ и далее полёт по маршруту протяжённостью 8000 км. Определить суммарную массу выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ , как в зоне аэропорта, так и при горизонтальном полёте по маршруту, считая что в это время все двигатели работают в режиме 0,3 от режима малого газа.

4.3.4. Самолёт Ту-154М совершая рейс, летит на высотах более 900 м 5800 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,65 от режима набора высоты. Определить: а) величину валового выброса  $\text{CO}$  на высотах более 900 м; б) суммарную массу выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  при стандартном ВПЦ, с учётом того, что на этапах ВПЦ работает ВСУ.

4.3.5. ВС типа Ил-86, совершая рейс, летят на высотах более 900 м на расстояние 7300 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме набора высоты. Определить: а) величину валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  на высотах более 900 м; б) долю (в %) валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  в зоне аэропорта от суммарного валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  за весь рейс.

4.3.6. 15 самолётов Ил-96, совершая рейс, летят на высотах более 900 м на расстояние 9200 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,5 от взлётного режима. Определить: а) величину валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  на высотах более 900 м; б) массу выбросов  $\text{C}_n\text{H}_m$  на этапах ВПЦ с учётом того, что перед ВПЦ осуществляется опробование двигателей; в) долю (в %) валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  на высотах более 900 м от суммарного валового выброса  $\text{C}_n\text{H}_m$  при опробовании и ВПЦ.

4.3.7. 11 ВС типа Ил-86, совершая рейс, летят на высотах более 900 м на расстояние 7700 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,45 от взлётного режима. Определить: а) величину валового выброса  $\text{NO}_x$  на высотах более 900 м с учётом температуры окружающей среды – минус 25 °С; б) долю (в %) валового выброса  $\text{NO}_x$  на высотах более 900 м от суммарного валового выброса  $\text{NO}_x$  за весь рейс, с учётом того, что ВПЦ – стандартный.

4.3.8. Самолёт Ил-96 после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 9 600 м со средней вертикальной скоростью подъёма 530 м/мин. Определить величину валового выброса  $\text{NO}_x$  в атмосферу за время всего подъёма до высоты эшелона крейсерского полёта 9 600 м и на высотах от эшелона 6 900 м до эшелона 9 600 м. Если учесть, что двигатели работают на режиме 0,75 от взлётного режима.

4.3.9. Самолёт Ту-154 совершая рейс, летит на высотах более 900 м на расстояние 6 400 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,43 от взлётного режима. Определить: а) величину

валового выброса CO во время крейсерского полёта; б) долю (в %) валового выброса CO на высотах более 900 м от работы ВСУ за один самолёто-вылет.

4.3.10. 5 ВС типа Ил-86 после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 7 500 м со средней вертикальной скоростью подъёма 480 м/мин. Определить величину валового выброса CO в атмосферу за время всего подъёма до высоты эшелона крейсерского полёта 7 500 м и на высотах от эшелона 4 800 м до эшелона 7 500 м. Если учесть, что двигатели работают в режиме набора высоты.

4.3.11. Самолёт Ту-204 совершая рейс, летит на высотах более 900 м 7300 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,78 от режима набора высоты. Определить: а) величину валового выброса  $NO_x$  и  $C_nH_m$  на высотах более 900 м; б) долю (в %) валового выброса  $NO_x$  и  $C_nH_m$  на высотах более 900 м от валового выброса  $NO_x$  и  $C_nH_m$  при стандартном ВПЦ.

4.3.12. 15 ВС типа Ту-134 после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 6 300 м со средней вертикальной скоростью подъёма 300 м/мин. Определить величину валового выброса  $C_nH_m$  в атмосферу за время всего подъёма до высоты эшелона крейсерского полёта 6 300 м и на высотах от эшелона 3 900 м до эшелона 6 300 м. Если учесть, что двигатели работают в режиме 0,4 от взлётного режима.

4.3.13. 9 ВС типа Ту-204 после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 7 800 м со средней вертикальной скоростью подъёма 400 м/мин. Определить величину валового выброса CO в атмосферу за время всего подъёма до высоты эшелона крейсерского полёта 7 800 м и на высотах от эшелона 5 400 м до эшелона 7 800 м. Если учесть, что двигатели работают в режиме 0,8 от режима малого газа.

4.3.14. 29 ВС типа Ту-154М после набора высоты и выхода за пределы зоны аэропорта поднялся на высоту эшелона крейсерского полёта 10 100 м со средней вертикальной скоростью подъёма 435 м/мин. Определить величину валового выброса  $NO_x$  в атмосферу за время всего подъёма до высоты эшелона крейсерского полёта 10 100 м и на высотах от эшелона 4 200 м до эшелона 10 100 м. Если учесть, что двигатели работают в режиме 0,4 от взлётного режима.

4.3.15. Самолёт Ту-134 совершая рейс, летит на высотах более 900 м 3 800 км. Во время крейсерского полёта маршевые двигатели работают в режиме 0,3 от режима захода на посадку. Определить: а) величину валового выброса CO во время крейсерского полёта; б) долю (в %) валового выброса CO на высотах более 900 м от работы ВСУ за один стандартный самолёто-вылет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П.** Экология: Учебник. Изд. 4-е. – М.: Дрофа, 2005.
2. **Николайкина Н.Е., Николайкин Н.И., Матягина А.М.** Промышленная экология: Инженерная защита биосферы от воздействия воздушного транспорта: Учебное пособие. – М.: Академкнига, 2006.
3. **Международные стандарты и рекомендуемая практика.** Охрана окружающей среды. Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. (*Environmental protection. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation*). Изд. 2-е (с посл. поправками). – Монреаль, Квебек, Канада
  - a. «Авиационный шум». Том 1. ИКАО, 1993. (*Aircraft noise. Vol. 1, ICAO, 1993*).
  - b. "Эмиссия авиационных двигателей". Том 2. ИКАО, 1993. (*Engine Emission. Vol. 2, ICAO, 1993*).
4. **Федеральные авиационные правила США.** Часть 34. (FAR-34) "Требования к самолётам с газотурбинными двигателями, относящиеся к выбросу топлива и эмиссии с выхлопными газами". 1999.
5. **Федеральные авиационные правила полётов в воздушном пространстве Российской Федерации.** Приказ Министерства обороны РФ, Министерства транспорта РФ и Российского авиационно-космического агентства от 31.03.02 № 136/42/51.
6. **Руководство по выполнению полётов.** OPS. Т.1: Процедуры выполнения полётов. ИКАО, Doc 8168-1, 1993, изд. 4. – 116 с.
7. **Руководство по выполнению полётов.** OPS. Т.1: Процедуры выполнения полётов. ИКАО, Doc 7488.
8. **Авиационные правила.** Часть 33 Нормы лётной годности двигателей воздушных судов. МАК, 1994.

**9. *Авиационные правила.*** Часть 34 Охрана окружающей среды. Эмиссия загрязняющих веществ авиационными двигателями. Нормы и испытания. МАК, 2002.

**10. *Банк данных ИКАО*** по эмиссии выхлопных газов двигателей. Doc 9646–AN/943. Изд. 1. -Монреаль: ИКАО, 1995. – 152 с.

**11. *Отраслевые методические указания по расчёту вредных выбросов от авиационных двигателей.*** Министерство авиационной промышленности СССР, 1989 г.

**12. *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.

**13. *Инструкция по взаимозаменяемости отечественных и зарубежных сортов горюче-смазочных материалов для самолётов, эксплуатирующихся на международных воздушных линиях.*** Министерство Гражданской авиации, - М.: Воздушный транспорт, 1985.

**14. *Об утверждении нормативов расхода топлива и технических скоростей на эксплуатацию воздушных судов.*** Указания ДВТ Минтранса России от 10.04.96 № ДВ-45/и.

**15. *Методика расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу двигателями основных типов воздушных судов гражданской авиации.*** ГосНИИ ГА, 1991. – 16 с.

**16. *European Environment Agency, EMER/CORINAIR.*** Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 2-nd edition, 1999.

**17. *Основные характеристики отечественных воздушных судов.*** Авиационный сертификационный центр ГосНИИ ГА, 2002.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

**Форма представления данных об удельных показателях выбросов ЗВ для  
отечественного авиадвигателя ПС-90А в официальном издании  
«Банка данных ИКАО» (1995) на русском языке [ 10 ]**

НАЗВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ НОМЕР ТИП ДВИГАТЕЛЯ	PS-90A 1AA005 MTF	СТЕПЕНЬ ДВУХКОНТУРНОСТИ: СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ: РАСЧЁТНАЯ ТЯГА (кН):	5 30,85 156,9
<u>ТИП ДАННЫХ</u>	- ДО НОРМИРОВАНИЯ X СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ - УТОЧНЁННЫЕ (СМ. ПРИМЕЧАНИЯ)		
<u>ИСТОЧНИК ДАННЫХ</u>	X ВНОВЬ ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ДВИГАТЕЛИ - ЭКСПЛУАТИРУЕМЫЕ ДВИГАТЕЛИ - ДО РЕМОНТА - ПОСЛЕ РЕМОНТА - ОПЫТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТОВ		
<u>ДАННЫЕ ОБ ЭМИССИИ</u>	- ДО ВНЕСЕНИЯ ПОПРАВОК X ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ ПОПРАВОК, УЧИТЫВАЮЩИХ ОКРУЖАЮЩИЕ УСЛОВИЯ		

РЕЖИМ	РЕЖИМ ТЯГИ (%F <sub>00</sub> )	ВРЕМЯ минуты	РАСХОД ТОПЛИВА кг/с	ИНДЕКСЫ ЭМИССИИ (г/кг)			ЧИСЛО ДЫМ- НОСТИ
				HC	CO	NO <sub>x</sub>	
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,739	0,12	0,35	37,0	-
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,431	0,12	0,40	31,5	-
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,489	0,20	0,90	11,8	-
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,178	0,30	6,90	5,8	-
КОЛИЧЕСТВО ИСПЫТАНИЙ				3	3	3	3
КОЛИЧЕСТВО ДВИГАТЕЛЕЙ				1	1	1	1
D <sub>p</sub> / F <sub>00</sub> <sup>1</sup> (СРЕДНЕЕ) (г/кН) или SN (МАКС.)				0,9	13,6	74,2	13
D <sub>p</sub> / F <sub>00</sub> <sup>1</sup> (г/кН) или SN (СИГМА)				-	-	-	-

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

ОТБОР МОЩНОСТИ: 0 (кВт) ПРИ: РЕЖИМЕ (РЕЖИМАХ) ТЯГИ -  
 ОТБОР ВОЗДУХА ОТ 0 % ОСНОВНОГО ПОТОКА ПРИ: РЕЖИМЕ ТЯГИ -  
 СТУПЕНИ:

АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ ТОПЛИВО

ДАВЛЕНИЕ	кПа	102,9-104
ТЕМПЕРАТУРА	°С	8-12
АБС. ВЛАЖНОСТЬ	кг/кг	0,00348-0,00607

СПЕЦИФИКАЦИЯ	Н/С	АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (%)
TS-1	2	19

ИЗГОТОВИТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИЯ, ПРОВОДИВШАЯ ИСПЫТАНИЕ: МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ: ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ	АО 'Aviadvigatel' АО 'Aviadvigatel' Perm City С 17 апр. 89 ДО 18 апр. 89
---	---

ПРИМЕЧАНИЯ: For aircraft Il-96 and Tu-204

<sup>1</sup> D<sub>p</sub>/F<sub>00</sub> – масса (г) загрязняющего вещества, выделяемого в течение стандартного цикла при посадке и взлёте ( LTO ), разделённая на расчётную мощность двигателя (кН).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Удельные показатели выбросов ЗВ для отечественных авиадвигателей, распространённых в практике отечественной ГА, в соответствии с «Банком данных ИКАО по эмиссии выхлопных газов двигателей, 1995» [ 10 ]

РЕЖИМ	ТЯГА, % $F_{00}$	ВРЕМЯ, минуты	РАСХОД ТОПЛИВА, кг/с	ИНДЕКСЫ ЭМИССИИ (г/кг)			РАСХОД ТОПЛИВА, кг/с	ИНДЕКСЫ ЭМИССИИ (г/кг)		
				HC	CO	NO <sub>x</sub>		HC	CO	NO <sub>x</sub>
Авиадвигатели АО «Авиадвигатель» (г. Пермь)										
Название двигателя			Д-30 (2-й серии)				Д-30КП-2			
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,150	0,12	2,7	19,1	1,67	0,7	2,2	16,5
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	0,975	0,14	3,2	16,3	1,42	0,8	2,8	13,5
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,350	1,50	14,5	7,0	0,49	2,7	15,4	6,3
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,130	43,60	60,3	3,6	0,210	13,3	62,4	3,3
Название двигателя			Д-30КУ				Д-30КУ-154			
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,520	0,3	2,8	16,3	1,420	0,4	3,0	14,5
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,300	0,4	3,7	12,6	1,100	0,5	3,6	11,6
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,500	1,2	11,8	5,1	0,420	1,9	18,2	5,1
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,215	10,5	54,0	2,7	0,207	12,7	77,7	2,9
Название двигателя			ПС-90А							
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,739	0,12	0,35	37,0				
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,431	0,12	0,40	31,5				
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,489	0,20	0,90	11,8				
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,178	0,30	6,90	5,8				
Куйбышевское конструкторское бюро двигателей (г. Куйбышев)										
Название двигателя			НК-8-2У				НК-86			
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,75	0,45	5,5	13,9	2,40	0,5	3,9	12,8
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,17	0,55	6,0	12,9	1,60	0,6	4,2	12,1
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,58	5,00	21,0	5,4	0,58	1,2	9,3	5,1
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,24	103,8	116,0	2,7	0,21	52,0	54,4	2,7
Название двигателя			НК-86А				НК-86МА			
ВЗЛЁТ	100	0,7	2,050	0,2	1,8	15,7	2,050	0,16	1,55	13,0
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,70	0,2	2,2	12,4	1,700	0,13	1,90	9,4
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,60	2,2	7,8	5,8	0,600	0,30	5,90	3,9
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,235	15,3	38,0	3,1	0,235	4,60	29,80	2,3
Авиадвигатели КБ «Прогресс» (г. Запорожье)										
Название двигателя			Д-36							
ВЗЛЁТ	100	0,7	0,634	0	0,5	26				
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	0,533	0	0,4	22				
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,211	0	2,7	9				
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	-	5,4	20,7	5,5				

**Удельные показатели выбросов ЗВ для иностранных авиадвигателей,  
распространённых в практике отечественной ГА, в соответствии с «Банком данных  
ИКАО по эмиссии выхлопных газов двигателей, 1995» [ 10 ]**

РЕЖИМ	ТЯГА, %F <sub>00</sub>	ВРЕМЯ, минуты	РАСХОД ТОПЛИ- ВА, кг/с	ИНДЕКСЫ ЭМИССИИ (г/кг)			РАСХОД ТОПЛИ- ВА, кг/с	ИНДЕКСЫ ЭМИССИИ (г/кг)			
				HC	CO	NO <sub>x</sub>		HC	CO	NO <sub>x</sub>	
Авиадвигатели фирмы "CFM International"											
Название двигателя			CFM56-3C1				CFM56-35A1				
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,154	0,03	0,9	20,7	1,051	0,23	0,9	24,6	
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	0,954	0,04	0,9	17,8	0,862	0,23	0,9	19,6	
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,336	0,07	3,1	9,1	0,291	0,40	2,5	8,0	
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,124	1,42	26,8	4,3	0,1011	1,4	17,6	4,0	
Название двигателя			CFM56-35A3				CFM56-5C2				
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,131	0,2	0,9	26,4	1,308	0,008	0,93	32,6	
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	0,925	0,2	0,9	21,1	1,076	0,008	0,80	25,8	
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,307	0,3	2,4	8,3	0,3558	0,082	1,75	10,0	
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,1044	1,3	16,2	4,1	0,1175	5,68	34,0	4,19	
Название двигателя			CFM56-5C3								
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,373	0,008	0,98	34,7					
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,131	0,008	0,82	27,1					
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,370	0,074	1,57	10,4					
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,1203	5,35	32,6	4,26					
Авиадвигатели фирмы "General Electric"											
Название двигателя			CF6-80C2A3								
ВЗЛЁТ	100	0,7	2,457	0,08	0,59	34,44					
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	2,003	0,10	0,57	25,45					
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,649	0,21	2,15	10,01					
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,202	9,21	42,18	3,96					
Авиадвигатели фирмы "Pratt and Whitney"											
Название двигателя			PW2037				PW2040				
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,538	0,05	0,40	31,1	1,761	0,026	0,4	34,3	
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,266	0,06	0,41	24,8	1,448	0,035	0,4	27,3	
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,399	0,21	2,30	10,3	0,493	0,18	2,0	10,6	
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,141	2,26	23,10	4,4	0,155	2,25	25,1	4,2	
Авиадвигатели фирмы "Rolls Royce Ltd"											
Название двигателя			RB211-535C				RB211-535E4				
ВЗЛЁТ	100	0,7	1,80	0,25	0,70	33,71	1,86	0,69	1,01	52,7	
НАБОР ВЫСОТЫ	85	2,2	1,47	0,14	0,27	24,89	1,51	0,94	1,23	36,2	
ЗАХОД НА ПОСАДКУ	30	4,0	0,54	0,44	0,48	6,37	0,57	1,33	1,71	7,5	
МАЛЫЙ ГАЗ	7	26,0	0,20	1,44	18,79	3,44	0,19	2,85	15,44	4,3	

**Интенсивность выброса в атмосферу ЗВ для некоторых отечественных авиадвигателей и вспомогательных силовых установок по данным МАП-89 [ 11 ]**

Тип двигателя	Режим работы двигателя	Эмиссия, кг/час		
		СО	СН	NOx
Д-30	Взлётный	5,5	1,8	80,0
	Номинальный	5,5	1,4	50,0
	0,88 номинала	5,5	1,4	40,0
	0,7 номинала	6,0	1,4	25,0
	0,6 номинала	6,0	1,4	20,0
	0,53 номинала	6,0	1,4	15,0
	Малый газ	17,0	2,9	2,5
Д-36	Взлётный	0,2	0,5	98,0
	Номинальный	0,2	0,4	59,0
	0,7 номинала	0,8	0,8	29,0
	0,6 номинала	0,8	0,8	21,0
	0,4 номинала	1,3	1,0	10,5
	Малый газ	7,0	1,2	1,2
Д-30КУ	Взлётный	6,0	2,5	89,0
	Номинальный	7,5	2,3	61,0
	0,9 номинала	8,8	2,5	53,0
	0,7 номинала	10,0	2,5	37,0
	0,6 номинала	11,0	2,2	30,0
	0,42 номинала	16,0	2,8	16,0
	Малый газ	47,5	8,2	2,1
Д-30КП	Взлётный	6,5	2,6	95,0
	Номинальный	7,5	2,3	61,0
	0,9 номинала	8,8	2,5	53,0
	0,7 номинала	10,0	2,5	37,0
	0,6 номинала	11,0	2,2	30,0
	0,42 номинала	16,0	2,8	16,0
	Малый газ	47,5	8,2	2,1
НК-8-2У	Взлётный	12,2	3,7	104,0
	Номинальный	10,2	4,1	76,0
	0,85 номинала	17,5	4,3	58,0
	0,7 номинала	18,0	4,7	43,0
	0,6 номинала	18,0	5,6	34,0
	0,4 номинала	19,0	6,5	18,0
	Малый газ	33,5	33,5	2,5

НК-8-4	Взлётный	12,5	4,0	110,0
	Номинальный	11,0	4,5	85,0
	0,85 номинала	19,0	4,5	65,0
	0,7 номинала	19,0	5,0	50,0
	0,6 номинала	19,0	6,0	40,0
	0,4 номинала	20,0	6,7	20,0
	Малый газ	31,5	31,5	3,0
АИ-25	Взлётный	7,9	0,2	9,2
	Номинальный	10,4	0,2	4,5
	0,85 номинала	13,0	0,3	3,4
	0,7 номинала	13,8	0,5	2,5
	0,6 номинала	14,5	0,6	2,0
	0,4 номинала	16,0	0,8	1,2
	Малый газ	29,5	6,0	0,3
АИ-25 с бездымной камерой сгорания	Взлётный	3,1	0,2	9,5
	Номинальный	4,5	0,2	6,0
	0,85 номинала	4,7	0,3	4,8
	0,7 номинала	4,6	0,5	3,7
	0,6 номинала	4,7	0,6	3,0
	0,4 номинала	4,9	0,8	1,8
	Малый газ	16,8	3,0	0,4
ТВ2-117А	Взлётный	2,65	0,5	3,5
	Номинальный	2,4	0,5	2,5
	Малый газ	3,5	1,5	0,5
Д-25В	Взлётный	2,0	0,5	12,5
	Номинальный	2,5	0,5	10,0
	Малый газ	3,5	1,0	2,0
ГТД-350	Взлётный	0,2	-	1,5
	Номинальный	0,2	-	1,0
	Малый газ	0,3	-	0,25
ТВД-10	Взлётный	0,3	-	3,0
	Номинальный	0,3	-	2,5
	Малый газ	0,3	-	0,5

АИ-24Т	Взлётный	6,5	0,2	7,5
	Номинальный	7,0	0,2	5,5
	0,85 номинала	10,0	0,2	4,0
	0,7 номинала	13,0	0,3	3,0
	0,6 номинала	15,0	0,5	2,5
	0,4 номинала	17,0	0,7	2,0
	Малый газ	20,0	1,0	1,5
			25,0	1,5
АИ-20	Взлётный	9,0	0,2	12,5
	Номинальный	10,5	0,2	7,5
	0,85 номинала	17,0	0,4	6,0
	0,7 номинала	22,0	0,7	5,5
	0,6 номинала	24,0	0,9	4,5
	0,4 номинала	28,0	1,2	3,0
	Малый газ	50,0	7,5	1,0
АШ-82В	Взлётный	600,0	12,5	3,5
	Номинальный	450,0	10,0	2,0
	Малый газ	75,0	3,0	0,1
АШ-62ИР	Взлётный	300,0	6,5	2,0
	Номинальный	250,0	5,0	1,0
	Малый газ	40,0	1,5	0,1
М-14	Взлётный	90,0	2,0	0,5
	Номинальный	75,0	1,5	0,4
	Малый газ	15,0	0,5	0,1
ТА-6	Номинальный	4,6	0,5	1,25
	Холостой ход	6,0	1,5	0,75
ТА-8	Полная нагрузка	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	-	1,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Масса ЗВ, выбрасываемых отечественными воздушными судами за один стандартный ВПЦ при стандартных атмосферных условиях, кг (ГосНИИ ГА – 1991 [ 15 ] )

Тип ВС	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	СО	NO <sub>x</sub>	Сумма выбросов
Ил - 86	90,0	60,6	25,3	175,9
Ил - 62М	16,2	89,8	17,6	123,6
Ту - 154Б	309,0	109,1	17,9	436,0
Ту - 154М	12,2	67,4	13,2	92,8
Ту - 134	3,4	12,3	8,9	24,6
Ту - 204/214	0,28	4,3	23,3	27,8
Ил - 76Т/ТД	15,8	90,6	19,0	125,4
Ил - 96 - 300	0,56	8,5	46,6	55,7
Як - 42	2,29	9,33	10,8	22,4
Як - 40	12,0	57,3	1,59	70,9
Ан - 24	0,86	4,32	1,96	7,14
Ан - 26	1,12	4,62	2,14	7,88

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Масса ЗВ, выбрасываемых за цикл операций опробования маршевых двигателей отечественных воздушных судов в наземных условиях, (ГосНИИ ГА – 1991 [ 15 ] )

Тип двигателя	Тип ВС	Количество выброса за цикл для вещества, кг			Масса сожжённого топлива, кг
		C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	СО	NO <sub>x</sub>	
НК-8-2у	Ту - 154Б	1,909	8,948	4,787	391
НК-86	Ил - 86	3,623	3,199	6,088	522
Д-30	Ту - 134	0,475	1,692	4,167	267
Д-30КУ	Ил - 62М	1,140	6,277	3,641	389
Д-30КП	Ил - 76Т/ТД	1,260	6,970	3,772	404
Д-30КУ-154	Ту - 154М	1,284	7,069	4,074	436
Д-36	Як - 42	0,137	0,673	4,311	227
ПС-90А	Ту - 204/214; Ил - 96 - 300	0,084	0,733	15,421	551
АИ-25	Як - 40	0,575	2,612	0,327	54
АИ-24 2сер.	Ан - 24РВ/24Б	1,134	0,746	0,422	98
АИ-24Т/24ВТ	Ан - 26; Ан - 30; Ан - 24Б	0,174	0,788	0,465	100

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

**Масса ЗВ, выбрасываемых при работе ВСУ за один самолёто-вылет,  
(ГосНИИ ГА – 1991 [ 15 ])**

Тип ВСУ	Тип ВС	Количество выброса для вещества, кг			Масса сожжённого топлива, кг
		C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	СО	NO <sub>x</sub>	
ТА-6А	Ил – 76; Ту - 154Б/М	0,501	4,825	0,909	195
ТА-6А	Ил - 62М	0,334	3,217	0,606	130
ТА-6В	Як-42	0,167	1,608	0,303	65
ТА-6	Ил - 62	0,334	3,217	0,606	130
ТА-8	Ту - 134	0,039	1,402	0,184	47
ТА-12	Як-42; Ту - 204	1,119	2,535	0,283	64
АИ-9	Як-40	0,050	0,250	0,075	19
ВСУ-10	Ил-86/96	0,105	0,848	1,650	210

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

**Нормативы расхода топлива и технических скоростей на эксплуатацию воздушных судов  
в соответствии с указаниями ДВТ Минтранса России от 10.04.96 № ДВ-45/И [ 14 ]**

Таблица 8.1

**Нормы расхода авиатоплива для самолётов Ил-96-300 в зависимости от  
продолжительности полёта по расписанию, кг**

км	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	-	366	513	590	638	673	696	716	731	743
1000	753	761	768	774	778	784	789	794	798	801
2000	804	807	810	812	814	816	818	820	822	824
3000	826	828	829	830	831	832	833	834	835	836
4000	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846
5000	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856
6000	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866
7000	867	868	869	869	868	865	862	856	848	832
8000	820	810	805	803	802	802	803	804	805	806
9000	806	807	807	808	808	809	809	810	810	811
10000	811	811	812	812	812	813	813	813	813	814
11000	814	814	814	814	814	814	814	814	814	814
12000	814	814	814	814	814	814	814	814	814	814

Таблица 8.2

**Технические скорости для расчёта продолжительности полёта  
по расписанию на различные расстояния для самолёта *Ил-96-300*, км/ч**

Часы	минуты											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	-	-	1970	2549	3134	3725	4321	4922	5527	6136	6748	7363
1	7981	8602	9226	9853	10483	11116	11752	12391	13033	13678	14326	14777
2	15630	16288	16948	17611	18277	18946	19618	20293	20971	21652	22336	23023
3	23713	24406	25102	25801	26503	27208	27916	28627	29341	30058	30778	31501
4	32227	32956	33688	34423	35161	35902	36646	37393	38143	38896	39652	40411
5	41173	41938	42706	43477	44251	45028	45808	46591	47377	48166	48958	49753
6	50548	51342	52135	52927	53717	54505	55291	56075	56856	57624	58389	59150
7	59907	60660	61408	62151	62889	63621	64347	65067	65781	66489	67191	67846
8	68494	69135	69768	70393	71010	71618	72217	72806	73000	73000	73000	73000
9	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000
10	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73000	73102	73572	74041	74509	74976
11	75442	75907	76371	76834	77296	77757	78217	78676	79134	79591	80047	80502
12	80956	81409	81861	82312	82762	83211	83659	84106	84552	84997	85440	85881
13	86320	86757	87192	87625	88056	88485	88912	89337	89760	90181	90600	91017
14	91432	91845	92256	92665	93072	93477	93880	94281	94680	95077	95472	95865
15	96256	96645	97032	97417	97800	98181	98560	98937	99312	99685	100056	100425

Таблица 8.3

**Технические скорости для расчёта продолжительности полёта  
по расписанию на различные расстояния для самолёта *Ту-154М*, км/ч**

км	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	-	330	410	478	528	572	610	642	668	688
1000	702	712	722	732	742	750	758	764	770	775
2000	779	783	787	790	793	796	799	801	803	805
3000	807	809	811	813	815	817	818	819	820	821
4000	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831
5000	832	833	834	835	836	837	838	839	839	840
6000	840	840	841	841	841	842	842	842	842	843

Таблица 8.4

**Нормы расхода авиатоплива для самолётов *Ту-154М* в зависимости от продолжительности полёта по расписанию, кг**

Часы	минуты											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	-	-	-	1300	1550	1820	2100	2350	2600	2900	3160	3430
1	3670	3950	4230	4500	4740	5000	5300	5560	5820	6100	6350	6630
2	6870	7150	7410	7670	7920	8230	8520	8840	9120	9450	9730	10050
3	10330	10650	10950	11230	11540	11840	12130	12440	12720	13040	13330	13620
4	13930	14250	14540	14850	15150	15460	15750	16060	16340	16650	16950	17250
5	17560	17870	18200	18500	18770	19100	19380	19700	20000	20300	20450	20600
6	20800	21000	21200	21400	21600	21900	22100	22340	2260	22830	23100	23330
7	23540	23820	24040	24300	24540	24800	25030	25280	25530	25760	26000	26260
8	26500	26740	27000	27230	27460	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 8.5

**Технические скорости для расчёта продолжительности полёта по расписанию на различные расстояния для самолёта *Ту-204*, км/ч**

км	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	-	-	500	540	580	610	635	648	660	671
1000	682	690	697	704	710	717	722	727	732	737
2000	741	745	749	752	755	758	760	762	764	766
3000	767	769	770	772	773	774	775	776	777	778
4000	779	779	780	780	781	782	782	783	783	783
5000	784	784	784	785	785	785	785	786	786	786
6000	786	786	786	786	786	786	787	787	787	787
7000	787	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 8.6

**Нормы расхода авиатоплива для самолётов Ту-204 в зависимости от продолжительности полёта по расписанию, кг**

Часы	минуты											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	-	-	1660	2020	2380	2740	3100	3470	3840	4210	4580	4960
1	5340	5720	6100	6480	6860	7240	7620	8010	8400	8790	9180	9570
2	9960	10360	10760	11160	11560	11970	12380	12790	13200	13620	14040	14460
3	14880	15300	15720	16140	16560	16970	17380	17790	18200	18600	19000	19400
4	19800	20190	20580	20970	21360	21740	22120	22500	22880	23250	23620	23990
5	24360	24720	25080	25430	25780	26120	26460	26800	27140	27470	27800	28120
6	28440	28760	29080	29390	29700	30010	30320	30620	30920	31220	31520	31820
7	32120	32420	32720	33020	33320	33620	33920	34220	34520	34820	35120	35420

Таблица 8.7

**Технические скорости для расчёта продолжительности полёта по расписанию на различные расстояния для самолёта Ту-134, км/ч**

км	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	-	335	445	522	560	594	620	641	658	671
1000	681	689	696	701	706	709	712	715	718	720
2000	722	724	725	726	727	728	728	729	729	730
3000	730	730	731	732	732	732	733	734	734	734

Таблица 8.8

**Нормы расхода авиатоплива для самолётов Ту-134 в зависимости от продолжительности полёта по расписанию, кг**

Часы	минуты											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	-	501	670	856	1153	1444	1729	2000	2240	2470	2690	2910
1	3130	3350	3570	3790	3990	4190	4390	4590	4790	4990	5180	5370
2	5560	5750	5940	6130	6320	6510	6700	6890	7080	7270	7455	7640
3	7824	8011	8198	8375	8572	8760	8947	9134	9322	9509	9697	9885
4	10072	10259	10446	10633	10820	11105	11190	11375	11560	11745	11930	12110

Таблица 8.9

**Технические скорости для расчёта продолжительности полёта  
по расписанию на различные расстояния для самолёта Ил-86, км/ч**

км	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	-	270	404	493	553	599	633	659	680	696
1000	708	717	725	732	739	746	752	757	762	767
2000	771	774	777	780	783	786	788	790	792	794
3000	796	798	800	801	802	803	804	805	806	807
4000	808	809	810	811	812	813	813	814	814	815
5000	815	816	817	817	818	818	818	819	819	820
6000	820	820	821	821	821	822	822	822	823	823
7000	823	823	824	824	824	824	824	824	824	825
8000	825	825	825	825	825	825	-	-	-	-

Таблица 8.10

**Нормы расхода авиатоплива для самолётов Ил-86 в зависимости  
от продолжительности полёта по расписанию, кг**

Часы	минуты											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0	-	-	3360	4140	4920	5700	6480	7270	8060	8850	9640	10440
1	11240	12040	12840	13650	14460	15270	16080	16900	17720	18540	19370	20200
2	21040	21880	22720	23570	24420	25270	26120	26970	27820	28670	29520	30368
3	31214	32058	32900	33740	34578	35414	36248	37080	37910	38738	39563	40384
4	41201	42014	42824	43632	44440	45198	45955	46713	47470	48228	48985	49692
5	50399	51106	51813	52520	53227	53934	54641	55348	56055	56737	57419	58100
6	58782	59464	60146	60827	61509	62166	62822	63479	64135	64792	65448	66105
7	66761	67418	68074	68731	69387	70044	70700	71306	71912	72518	73124	73730
8	74336	74942	75548	76154	76760	77316	77871	78427	78982	79538	80093	80648
9	81204	81760	82315	82871	83426	83982	84537	85093	85648	86204	86759	87264
10	87769	88274	88779	89284	89789	-	-	-	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

**Основные характеристики отечественных воздушных судов, по данным Авиационного сертификационного центра ГосНИИ ГА (2002 г.) [ 17 ]**

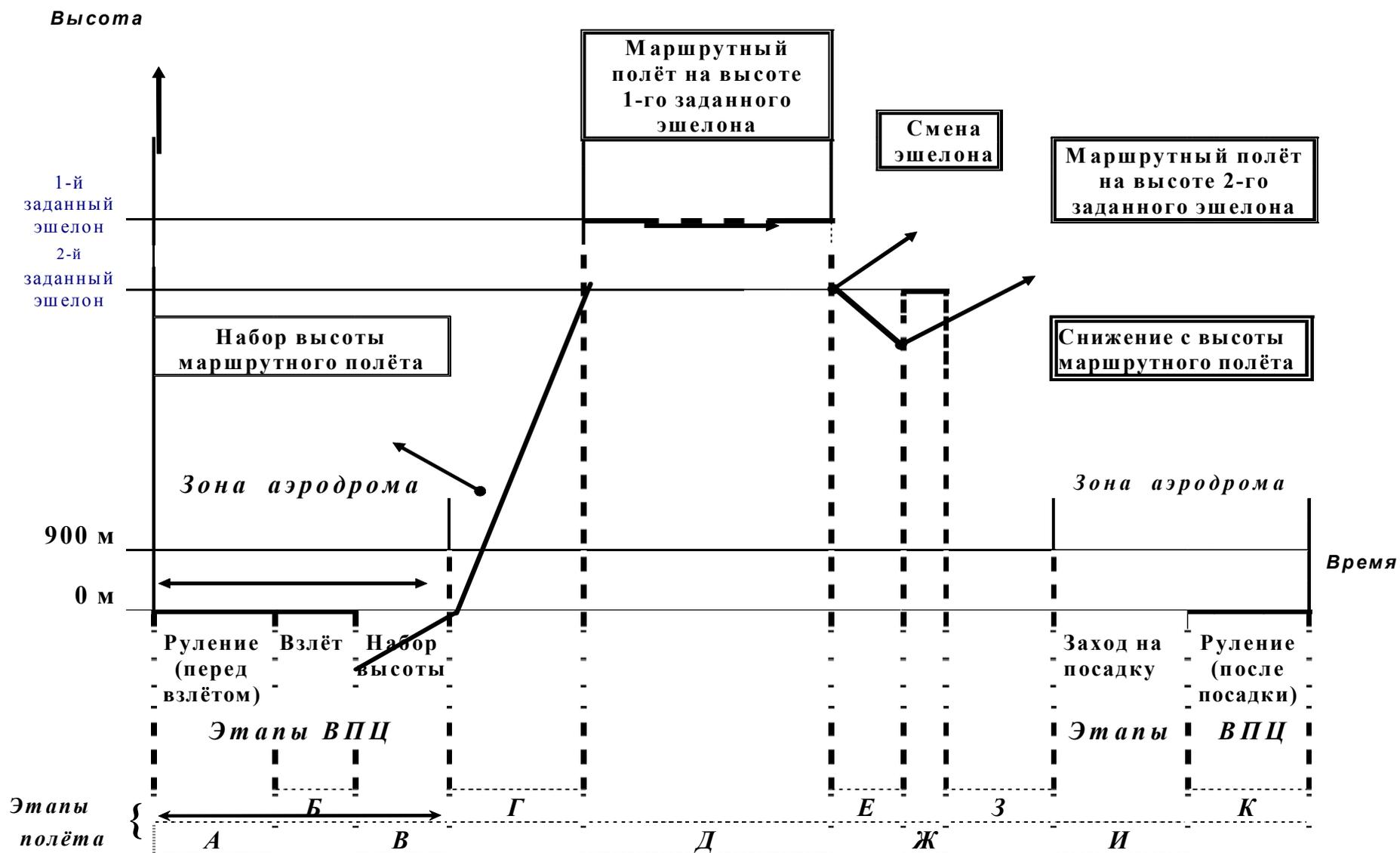
ОАО "АК им. С.В. ИЛЬЮШИНА"											
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Ил-103	Ил-100	Ил-18Д	Ил-114	Ил-114-100	Ил-62М	Ил-86	Ил-96-300	Ил-96Т	Ил-76ТД	Ил-76ТФ
Двигатель: тип	Ю-360ТС	НК-123	АИ-20М	ТВ7-117	PW-127С	Д-30КУ	НК-86	ПС-90А	PW-2337	Д-30КП	ПС-90А
количество, шт.	1	2	4	2	2	4	4	4	4	4	4
Количество пассажиров, чел.	4	12	100	64	64	168	350	300	-	-	-
Коммерческая нагрузка (макс), т	0,27	1,20	13,50	6,50	6,50	23,00	42,00	40,00	92,00	50,00	52,00
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	900	678	3839	284	520	7970	3300	8000	5200	3700	4530
Крейсерская скорость, км/ч	200	350	617	478	460	830	870	828	850-870	775-830	780-800
Расход топлива: кг/ч	29	137	2060	589	575	6620	9900	6700	9046	8600	8820
г/пас.км (г/ткм)	47,6	33,5	34,8	20,8	21,2	46,6	34,5	26,0	(110,7)	(200)	(192)
ОАО "ТУПОЛЕВ"											
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Ту-134Б	Ту-154Б	Ту-154М	Ту-204-100	Ту-204-120	Ту-214	Ту-204-300	Ту-334-100	Ту-334-200	Ту-324	Ту-414
Двигатель: тип	Д-30 3 серии	НК-8-2У	Д-30КУ-154	ПС-90А	RB/211-535E	ПС-90А	ПС-90А	Д-436Т1	Д-436Т2	АИ-22; CF-34	BR710-48
количество, шт.	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
Количество пассажиров, чел.	76	169	180	210	210	210	140	102	126	52	72
Коммерческая нагрузка (макс), т	8,20	18,0	18,0	20,65	21,00	25,20	18,00	12,00	15,00	5,50	8,00
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	2095	2780	3900	4400	4300	4340	6400	1756	985	1970	2820
Крейсерская скорость, км/ч	775	850	850	807	807	824	820	800	800	807	850
Расход топлива: кг/ч	2486	6428	5256	3460	3422	3681	2995	2660	2004	961	1572
г/пас.км (г/ткм)	43,4	40,0	31,0	19,6	19,1	20,9	21,4	24,6	24,1	23,6	26,3

АНТК "АНТОНОВ"											
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Ан-2	Ан-3Т	Ан-24	Ан-28	Ан-38-200	Ан-74ТК-300	Ан-140-100	Ан-148	Ан-70Т	Ан-124-100	Ан-225
Двигатель: тип	АШ-62	ТВД-20	АИ-24	ТВД-10	ТВД-20	Д-36-4А	ТВ3-117	Д-36-5АФ	Д-27	Д-18Т	Д-18Т
количество, шт.	1	1	2	2	2	2	2	2	4	47	6
Количество пассажиров, чел.	12	12	48	17	27	52	52	70			
Коммерческая нагрузка (макс), т	1,50	1,80	5,00	1,75	2,50	10,00	6,00	8,70	47,00	120,00	200,00
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	410	69	807	515	819	940	1741	1630	1350	4500	4500
Крейсерская скорость, км/ч	184	210	440	325	340	650	475	820	750	750-850	700-850
Расход топлива: кг/ч	114,0	180,0	728	299,0	393	1719	606	1634	3997	15187	19919
г/пас.км (г/ткм)	61,3	76,0	36,0	57,3	45,3	48,5	24,7	29,3	(111)	(161,5)	(136,5)
ОАО "ОКБ им. А.С.ЯКОВЛЕВА"											
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Як-18Т	Як-112	Як-58	Як-48	Як-48(адм)	Як-40	Як-42	Як-242	Як-42Д	Як-42-90	Як-54
Двигатель: тип	М-14П	Ю-540	М-14ПТ	АИ-22-1	АИ-22	АИ-25	Д-36	ПС90-А12	Д-36	Д-36	М-14П
количество, шт.	1	1	1	2	2	3	3	2	3	3	1
Количество пассажиров, чел.	3	3/4	5	33	8/4	32	120	156	120	90	2(пилота)
Коммерческая нагрузка (макс), т	0,27	0,36	0,45	3,55	1,73	3,24	13,00	18,00	12,82	13,00	-
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	220	400	1000	1122	3700	1159	1060	1600	1828	2200	-
Крейсерская скорость, км/ч	180	193	230	800	800	504	700	800	700	700	310
Расход топлива: кг/ч	34	23	53	1302	1027	1059	3100	2850	2902	2629	-
г/пас.км (г/ткм)	65,7	37,5	46,1	46,9	-	69,9	35,0	21,0	34,5	41,7	-

ОАО "МВЗ им. М.Л.МИЛЯ"											
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Ми-2	Ми-6А	Ми-8Т	Ми-8 МТВ	Ми-171/ 172	Ми-10К	Ми-26Т	Ми-34С	Ми-38	Ми-52-1	Ми-54
Двигатель: тип	ГТД-350	Д-25В	ТВ2-117А	ТВ3-117ВМ	ТВ3-117ВМ	Д-25В	Д-136	М14-В26	РW-127S/Т	ВА3-426В	ВК-800
количество, шт.	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
Количество пассажиров, чел.	7-8	-	24-26	24-26	26	28	82	3	29-30	3	12
Коммерческая нагрузка (макс), т	700/800	8000/12000	3000/4000	4000/ 4000	4000	3000/10100	20000/20000	381	5000/7000	350	1300/1500
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	135	33	50	310	300	50/410	464	0	395	269	252
Крейсерская скорость, км/ч	180	235	205	215	215	200-220	235	180	250-260	160	260
Расход топлива: кг/ч	232	2300	608	658	605	2573	2552	68	784	37	301
кг/ткм	2,18	0,92	0,84	0,81	1,11	1,60	0,54	1,46	0,67	0,66	1,11

	ТАНТК им. Г.М. Бериева				ЭМЗ им. Мясищева	НПО "АВИА"	ГКНПЦ им. ХРУНИЧЕВА		Техно-авиа	ОКБ "СУХОЙ"	РСК "МиГ"
ТИП ВОЗДУШНОГО СУДНА	Бе-103	Бе-200	Бе-12-200	Бе-32К	М-101Т "Тжель"	Аккорд 201	Т-411	Т-440 Меркурий	СМ-92 Финист	С-80	МиГ-110
Двигатель: тип	Ю-360S4	Д-436ТП	АИ-20Д	РТ6А-65В	М-601F	Ю-360 TS7В	М-14П	РТ6А-135А	М-14П	ТВ7-117С	GE-CT7-9В
количество, шт.	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2
Количество пассажиров, чел.	5	-	-	16	7	6	3/4	6/10	6	48	30
Коммерческая нагрузка (макс), т	0,39	7,50	6,00	1,90	0,63	0,85	0,30	1,27	0,60	4,80	3,30
Практическая дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке, км	590	970	1500	150	955	0	238	1252	760	1421	536
Крейсерская скорость, км/ч	220	550	460	370	360	222	170	550	180	500	400
Расход топлива: кг/ч	43	4471	2146	220	113	41	44	202	37	477	342
г/пас.км (г/ткм)	-	-	-	39,0	45,6	33,0	79,6	52,0	35,7	20,9	26,2

Этапы полёта



Ориентировочные значения поправочных коэффициентов для ЗВ на различных этапах ВПЦ для ВС типа [ 10 ]

**ИЛ-96**

Компоненты эмиссии и этап взлётно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, °С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
СО	Руление	2,15	2,15	1,88	1,61	1,36	1,15	1,00	0,85	0,79
	Всего за цикл	2,20	2,20	1,89	1,63	1,40	1,17	1,00	0,86	0,80
СН	Руление	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Всего за цикл	1,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NOx	Руление	0,60	0,64	0,72	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16
	Всего за цикл	0,38	0,45	0,53	0,62	0,73	0,85	1,00	1,16	1,31
	Снижение с высоты 900 м	0,52	0,57	0,63	0,71	0,69	0,89	1,00	1,13	1,11
	Всего за цикл	0,44	0,50	0,57	0,66	0,76	0,87	1,00	1,14	1,24

**ИЛ-86**

Компоненты эмиссии и этап взлётно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, °С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
СО	Руление	1,62	1,52	1,42	1,32	1,21	1,10	1,00	0,90	0,81
	Всего за цикл	1,56	1,46	1,36	1,26	1,15	1,09	1,00	0,91	0,82
СН	Руление	2,87	2,53	2,18	1,84	1,53	1,25	1,00	0,79	0,61
	Всего за цикл	2,83	2,49	2,15	1,82	1,51	1,24	1,00	0,79	0,62
NOx	Руление	0,71	0,75	0,79	0,83	0,89	0,94	1,00	1,06	1,15
	Всего за цикл	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,92	1,00	1,03	1,03
	Снижение с высоты 900 м	0,66	0,72	0,77	0,83	0,89	0,96	1,00	0,95	0,90
	Всего за цикл	0,59	0,65	0,72	0,78	0,85	0,93	1,00	1,01	1,01

**ИЛ-76ТД**

Компоненты эмиссии и этап взлётно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, 0С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
СО	Руление	1,40	1,33	1,27	1,20	1,13	1,06	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	1,47	1,38	1,30	1,22	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88
СН	Руление	1,40	1,34	1,26	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	1,47	1,38	1,30	1,22	1,14	1,07	1,00	0,94	0,88
NOx	Руление	0,71	0,74	0,81	0,84	0,87	0,94	1,00	1,06	1,10
	Всего за цикл	0,57	0,64	0,70	0,77	0,85	0,93	1,00	1,05	1,05
	Снижение с высоты 900 м	0,54	0,61	0,69	0,76	0,86	0,95	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	0,58	0,64	0,71	0,78	0,86	0,94	1,00	0,99	0,98

**ТУ-154**

Компоненты эмиссии и этап взлётно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, 0С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
СО	Руление	1,40	1,33	1,27	1,20	1,13	1,06	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	1,47	1,38	1,30	1,22	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88
СН	Руление	1,40	1,34	1,26	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	1,47	1,38	1,30	1,22	1,14	1,07	1,00	0,94	0,88
NOx	Руление	0,71	0,74	0,81	0,84	0,87	0,94	1,00	1,06	1,10
	Всего за цикл	0,57	0,64	0,70	0,77	0,85	0,93	1,00	1,05	1,05
	Снижение с высоты 900 м	0,54	0,61	0,69	0,76	0,86	0,95	1,00	0,93	0,87
	Всего за цикл	0,58	0,64	0,71	0,78	0,86	0,94	1,00	0,99	0,98

**ТУ-134**

Компоненты эмиссии и этап взлётно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, 0С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
СО	Руление	1,35	1,28	1,22	1,15	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90
	Всего за цикл	1,44	1,35	1,27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,95
СН	Руление	1,85	1,66	1,49	1,32	1,22	1,10	1,00	0,90	0,82
	Всего за цикл	1,90	1,71	1,52	1,37	1,23	1,11	1,00	0,91	0,82
NOx	Руление	0,69	0,75	0,88	0,88	0,94	0,94	1,00	1,06	1,13
	Всего за цикл	0,44	0,51	0,58	0,67	0,76	0,87	1,00	0,95	0,87
	Снижение с высоты 900 м	0,51	0,56	0,63	0,72	0,79	0,88	1,00	1,00	0,95
	Всего за цикл	0,50	0,56	0,63	0,71	0,80	0,89	1,00	0,99	0,94

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

**Распределение эшелонов в воздушном пространстве РФ [ 5 ]**

№ п-п	№эшелона						
1	900	10	3600	19	6300	28	9600
2	1200	11	3900	20	6600	29	10100
3	1500	12	4200	21	6900	30	10600
4	1800	13	4500	22	7200	31	11100
5	2100	14	4800	23	7500	32	11600
6	2400	15	5100	24	7800	33	12100
7	2700	16	5400	25	8100	34	13100
8	3000	17	5700	26	8600	35	14100
9	3300	18	6000	27	9100	36	15100

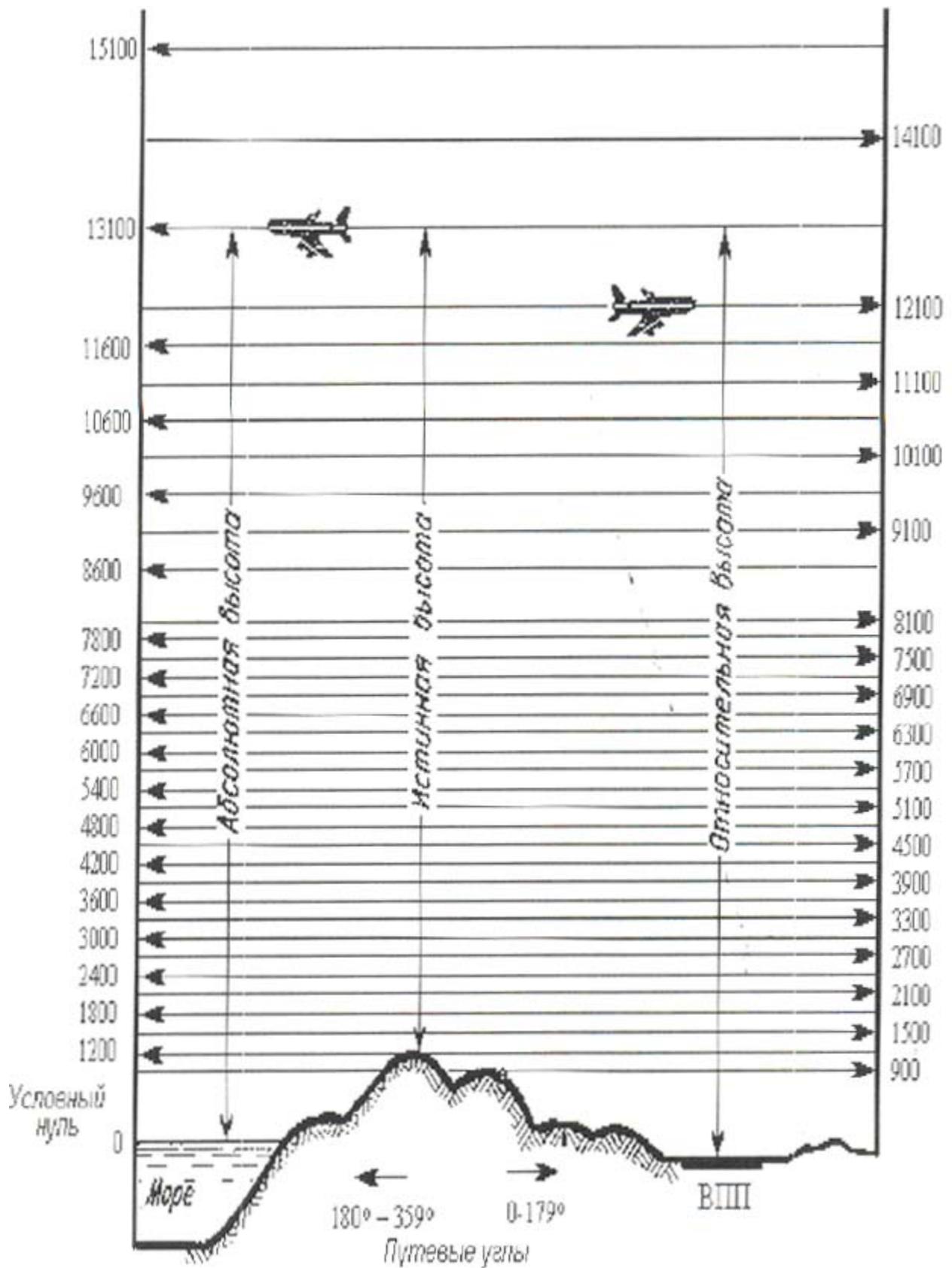


Рис. 12.1 Схема эшелонирования самолётов по высотам

## Требования к качеству топлив для реактивных двигателей [ 13 ]

Наименование показателей	Нормы по маркам	
	ТС – 1 ГОСТ 10227–62	РТ ГОСТ 16564–71
1. Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не менее	0,775 <sup>1</sup> (0,780)	0,775
2. Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 900 <sup>1</sup> (43 120)	43 120
3. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	28	28
4. Температура начала кристаллизации, °С, не выше	Минус 60	Минус 60
5. Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	22	18,5
6. Массовая доля фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива, не более	5 <sup>1</sup> (3)	4,0
7. Массовая доля серы, %, не более	0,25 <sup>1</sup> (0,20)	0,1
8. Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,005 <sup>1</sup> (0,003)	0,001

<sup>1</sup> В скобках указаны значения показателей для топлива ТС-1, выпускаемого по высшей категории качества, а без скобок – для I категории качества.