

Задача 2

Расчет эмиссии загрязняющих веществ

двигателями воздушных судов

Вариант 1

Расчитать валовый выброс C_nH_m от 2-х маршевых двигателей самолета Ту-154Б за стандартный ВПЦ

Расчет

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

$$M = \sum EI_i \cdot G_{топл,i} \cdot \tau_i$$

Суммирование производится по количеству двигателей данного типа.

EI_i – удельный показатель выброса рассматриваемого загрязняющего вещества на i -м режиме работы двигателя (Приложение 1, Приложение 2);

$G_{топл,i}$ – расход топлива на i -м режиме работы двигателя (Приложение 1, Приложение 2);

τ_i – продолжительность i -го режима работы двигателя (табл. 3);

i – режим работы двигателя в зоне аэропорта (этап ВПЦ).

Таблица 2 – Этапы ВПЦ и соответствующие им режимы работы АД в зоне аэродрома, принятые ИКАО в качестве стандартных, по АП-34

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

Величина тяги и время работы авиационного двигателя на каждом этапе ВПЦ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина тяги и время работы авиационного двигателя

Этап ВПЦ	Величина тяги, %	Время, мин.
Взлет	100	0,7
Набор высоты	85	2,2
Заход на посадку	30	4,0
Руление	7	26,0

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 _x		HC	CO	NO _x
Куйбышевское конструкторское бюро двигателей (г. Куйбышев)										
Название двигателя			НК – 8 – 2У				НК - 86			
Взлет	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

Для одного двигателя:

$$M_{1,2} = 1,75 \cdot 0,7 \cdot 60 \cdot 0,45 + 1,17 \cdot 2,2 \cdot 60 \cdot 0,55 + 0,58 \cdot 4,0 \cdot 60 \cdot 5,00 + 0,24 \cdot 26 \cdot 60 \cdot 103,8 =$$

$$= 39676,74 \text{ г} = 39,7 \text{ кг}$$

Для двух двигателей: $M = 2M_{1,2} = 2 \cdot 39,7 = 79,4 \text{ кг}$

Вариант 2

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

Расчет

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_x		HC	CO	NO_x
Куйбышевское конструкторское бюро двигателей (г. Куйбышев)										
Название двигателя			НК – 8 – 2У				НК - 86			
Взлет	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

Для одного двигателя:

$$M_{1-4} = 0,58 \cdot 4,0 \cdot 60 \cdot 5,1 = 709,92 \text{ г} = 0,71 \text{ кг}$$

Для учета фактической температуры окружающей среды расчет ведут по формуле:

$$M_t^{3B} = M_{CA}^{3B} \cdot k_t = 0,71 \cdot 0,77 = 0,547 \text{ кг}$$

где M_{CA}^{3B} и M_t^{3B} – количество (масса) ЗВ, выброшенного в атмосферу при стандартной температуре СА (15 °С) и при фактической температуре окружающей среды t соответственно;

$k_t = 0,77$ – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды t (Приложение 6).

ИЛ – 86

Компоненты эмиссии и этап взлетно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, °С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
CO	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
CH	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
NO_x	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	0,66	0,72	0,77	0,83	0,89	0,96	1,00	0,95	0,90

900 м										
Всего за цикл	0,59	0,65	0,72	0,78	0,85	0,93	1,00	1,01	1,01	

Для 4-х двигателей: $M = 4 \cdot M_i^{3B} = 4 \cdot 0,547 = 2,2$ кг

Вариант 3

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

Расчет

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 _x		HC	CO	NO _x
Куйбышевское конструкторское бюро двигателей (г. Куйбышев)										
Название двигателя			НК – 8 – 2У				НК - 86			
Взлет	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

Для одного двигателя:

$$M_{1,2} = 0,58 \cdot 4,0 \cdot 60 \cdot 9,3 = 709,92 \text{ г} = 0,71 \text{ кг}$$

Для двух двигателей: $M = 2M_{1,2} = 2 \cdot 39,7 = 79,4$ кг

Вариант 4

Рассчитать суммарный валовый выброс CO, NO_x на этапе взлета самолета Ту-154М

Расчет

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 _x		HC	CO	NO _x
Авиадвигатели АО «Авиадвигатель» (г. Пермь)										
Название двигателя			Д – 30КУ				Д – 30КУ - 154			
Взлет	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	0215	10,5	54,0	2,7	0,207	12,7	77,7	2,9

Для одного двигателя:

$$M_{1(\text{CO})} = 1,42 \cdot 0,7 \cdot 60 \cdot 3,0 = 178,92 \text{ г} = 0,179 \text{ кг}$$

$$M_{1(\text{NO}_x)} = 1,42 \cdot 0,7 \cdot 60 \cdot 14,5 = 864,78 \text{ г} = 0,865 \text{ кг}$$

$$\Sigma M_1 = 0,179 + 0,865 = 1,044 \text{ кг}$$

Если учесть, что Ту-154М имеет 3 маршевых двигателя:

$$M = 3 \Sigma M_1 = 3 \cdot 1,044 = 3,13 \text{ кг}$$

Вариант 5

1. Рассчитать суммарный валовый выброс CO , C_nH_m , NO_x от ВСУ самолета Ту-154М за 21 стандартный ВПЦ

Расчет

Приложение 3

Масса ЗВ, забрасываемых отечественными воздушными судами за один стандартный ВПЦ при стандартных атмосферных условиях, кг (ГосНИИ ГА-1991)

Тип ВС	C_nH_m	CO	NO_x	Сумма выбросов
Ил – 86	90,0	60,0	25,3	175,9
Ил – 62М	16,2	89,9	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
Як – 24	0,86	4,32	1,96	7,14
Як - 26	1,12	4,62	2,14	7,88

За один стандартный ВПЦ: $\Sigma M_1 = 92,8$ кг

За 21 стандартный ВПЦ: $\Sigma M_{21} = 21 \cdot \Sigma M_1 = 21 \cdot 92,8 = 1948,8$ кг

Вариант 6

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

Расчет

Приложение 3

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

Тип двигателя	Тип ВС	Количество выброса за цикл для вещества, кг			Масса сожженного топлива, кг
		C _n H _m	CO	NO _x	
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

За один цикл опробования маршевых двигателей в наземных условиях:

$$\Sigma M_1 = 0,137 + 0,673 + 4,311 = 5,121 \text{ кг}$$

За 18 циклов опробования маршевых двигателей в наземных условиях:

$$\Sigma M_{18} = 18 \cdot \Sigma M_1 = 18 \cdot 5,121 = 92,178 \text{ кг}$$

Вариант 7

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

Расчет

Приложение 1

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

Тип двигателя	Режим работы двигателя	Эмиссия кг/час		
		CO	CH	NO _x
АИ – 24Т	Взлетный	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	0,5

Таблица 2 – Этапы ВПЦ и соответствующие им режимы работы АД в зоне аэродрома, принятые ИКАО в качестве стандартных, по АП-34

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

ВПЦ для одного цикла:

$$M_1 = 0,7 \cdot 7,0/60 + 2,2 \cdot 6,5/60 + 4,0 \cdot 17/60 + 26 \cdot 25/60 = 1,45 \text{ кг}$$

$$\text{За 11 циклов: } M = 11 \cdot 1,45 = 15,95 \text{ кг}$$

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

Тип двигателя	Тип ВС	Количество выброса за цикл для вещества, кг			Масса сожженного топлива, кг
		C _n H _m	CO	NO _x	
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

За один цикл опробования маршевых двигателей в наземных условиях:

$$\Sigma M_1 = 0,788 \text{ кг}$$

За 15 циклов опробования маршевых двигателей в наземных условиях:

$$\Sigma M_{15} = 15 \cdot \Sigma M_1 = 15 \cdot 0,788 = 11,82 \text{ кг}$$

Валовый выброс CO: $15,95 + 11,82 = 27,77 \text{ кг}$

Вариант 8

Рассчитать максимальный валовый выброс SO_x от самолетов 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.

Расчет

Приложение 3

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

Тип двигателя	Тип ВС	Количество выброса за цикл для вещества, кг			Масса сожженного топлива, кг
		C_nH_m	CO	NO _x	
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

Выбросы соединений серы в атмосферу с отработавшими газами прямо пропорциональны содержанию серы в топливе, поэтому для определения удельного показателя выброса оксидов серы (г/кг топлива) на всех режимах работы авиадвигателей используют следующую формулу:

$$EI_{SO_x} = 20 \cdot S = 20 \cdot 0,002 = 0,04 \text{ г}$$

где S – общее содержание серы в топливе в соответствии с паспортными данными топлива (см. Приложение 5).

$$M = 0,04 \cdot 100 \cdot 567 = 2268 \text{ г} = 2,268 \text{ кг}$$

Требования к качеству топлив для реактивных двигателей

Наименование показателей	Нормы по маркам	
	ТС – 1 ГОСТ 10227-62	РТ ГОСТ 16564-71
1. Плотность при 20°C, г/см ³ , не менее	0,775 ¹ (0,780)	0,775
2. Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 900 ¹ (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 ³ топлива, не более	5 ¹ (3)	4,0
7. Массовая доля серы, %, не более	0,25¹ (0,20)	0,1
8. Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,005 ¹ (0,003)	0,001

Вариант 9

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

Расчет

За один цикл:

$$\text{МН}_2\text{О (кг)} = 1,23 \cdot G_{\text{топл}}$$

$$\text{За 175 циклов: } \text{МН}_2\text{О} = 175 \cdot 1,23 \cdot 551 = 118602,8 \text{ кг}$$

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

Тип двигателя	Тип ВС	Количество выброса за цикл для вещества, кг			Масса сожженного топлива, кг
		C_nH_m	СО	NO_x	
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

Вариант 0

Рассчитать валовый выброс CO от 1-го маршевого двигателя типа НК-86 самолета Ил-86 на этапе руления при температуре окружающей среды на аэродроме – плюс 35⁰С.

Расчет

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 _x		HC	CO	NO _x
Куйбышевское конструкторское бюро двигателей (г. Куйбышев)										
Название двигателя			НК – 8 – 2У				НК - 86			
Взлет	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

Для одного двигателя:

$$M_1 = 0,24 \cdot 26 \cdot 60 \cdot 54,4 = 20367,36 \text{ г} = 20,4 \text{ кг}$$

Для учета фактической температуры окружающей среды расчет ведут по формуле:

$$M_t^{3B} = M_{CA}^{3B} \cdot k_t = 0,81 \cdot 20,4 = 16,52 \text{ кг}$$

где M_{CA}^{3B} и M_t^{3B} – количество (масса) ЗВ, выброшенного в атмосферу при стандартной температуре СА (15 °С) и при фактической температуре окружающей среды t соответственно;

$k_t = 0,81$ – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды t (Приложение 6).

ИЛ – 86

Компоненты эмиссии и этап взлетно-посадочного цикла		Значения поправочного коэффициента при температуре, °С								
		-45	-35	-25	-15	-5	5	15	25	35
CO	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
CH	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
NO _x	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