

Утверждаю
Министр охраны
окружающей среды
Республики Казахстан
от « » 2010 г. №

**Система нормативных документов по охране окружающей среды
Руководящий нормативный документ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**ПО РАСЧЕТУ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
В АТМОСФЕРУ ОТ АВИАЦИИ
(внутренней и международной)**

*Исполнитель: РГП «КазНИИЭК» МОС РК
Заказчик: Министерство охраны окружающей
среды Республики Казахстан*

Астана 2010

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения
2. Цель и задачи
3. Порядок расчетов
 - 3.1. Метод уровня 1
 - 3.2. Метод уровня 2
4. Пример расчета
5. Оценка неопределенностей
6. Список использованных источников

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выбросы парниковых газов воздушными судами в Казахстане в 10-12 раз меньше чем от автотранспорта. В мире, однако, выбросы от этого вида транспорта только 7-8 раз меньше, чем от автотранспорта.

Характерной особенностью современного периода развития является практически полное отсутствие полетов по местным воздушным линиям. Правда появились частные самолеты, контроль за полетами которых затруднен, как и во всем мире. Полеты гражданской авиации осуществляются сейчас только между городами с населением 500 тыс. человек или около того, а также по международным воздушным линиям. Второй характерной особенностью современного периода является то, что перевозки пассажиров и багажа по международным линиям сравнимы или превышают перевозки внутри Казахстана. Обе упомянутые особенности влияют определенным образом на выбросы парниковых газов и должны учитываться.

Кроме воздушных судов для их обслуживания в аэропортах используется большое количество обычного и специального автотранспорта. Расчет выбросов парниковых газов от него осуществляется по методике для автотранспорта.

Данная методика предназначена для расчетов выбросов парниковых газов только от воздушных судов.

Расчет осуществляется по предприятию (фирме), имеющей в своей собственности воздушные суда разных типов.

На авиатрассах внутри Казахстана все выбросы парниковых газов следует считать частью выбросов, осуществляемых экономической деятельностью Республики. Есть определенные трудности в идентификации принадлежности выбросов, осуществляемых на международных авиамаршрутах.

Выбросы на внутренних авиатрассах учитываются отдельно от международных авиатрасс. Определение типа трассы осуществляется независимо от государственной принадлежности самолета. Так, при полетах между двумя аэропортами, если вылет и прибытие осуществляется в одной и той же стране, то это внутренний рейс. Если же вылет осуществляется из аэропорта одной страны, а посадка – в аэропорту другой страны, то это международный рейс. Данное правило применяется и к отдельным этапам полетов с более чем одним взлетом и посадкой.

Выбросы парниковых газов на международных рейсах учитываются отдельно и не включаются в итоговые национальные показатели.

Промежуточные технические посадки, однако, не меняют определения рейса, как внутреннего, так и международного, поскольку технические посадки предназначены исключительно для дозаправки или решения технических вопросов. Посадки – высадки пассажиров или перегрузки груза при этом не происходит.

Уточнить тип рейса можно по проданному топливу. Топливо, проданное для внутреннего рейса, подлежит обложению, а топливо на международные рейсы – налогом не облагается. Следовательно, информация о местных налогах иногда позволяет уточнить тип рейса.

Следующим важным моментом, является специфика выбросов ПГ воздушными судами. Выбросы происходят от потребления топлива реактивными двигателями (реактивного керосина и бензина) и авиационного бензина легкой авиацией. Выбросы авиационных двигателей грубо оцениваются как CO_2 – 70%, H_2O \approx 29 % и прочие \approx 1 %. Выбросы N_2O от современных газовых турбин малы или отсутствуют вовсе. Метан (CH_4) может иметь место только при работе турбин в холостом режиме, но в очень незначительном количестве.

Количество выбросов ПГ зависит от количества и вида авиационных операций, видов и эффективности двигателей, использованию топлива, длительности рейса, режимов работы и пр. Для лучшего учета авиационные операции принято делить на два вида:

- цикл взлета и посадки (В/П);
- крейсерский полет.

По данным исследований дальнего зарубежья около 10% выбросов осуществляется во время наземных операций в аэропорту и во время цикла В/П. Основная же часть авиационных выбросов ПГ, до 90 %, осуществляется на больших высотах.

Сказанное выше об особенностях выбросов ПГ в авиации учтено в настоящей методике.

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Целью данной работы является разработка методики расчета выбросов парниковых газов (ПГ) от воздушных судов, которая удовлетворяла бы современным требованиям по точности учета и в то же время учитывала бы возможности и особенности авиаперевозок в Казахстане на внутренних и международных рейсах.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи:

- выполнен анализ состояния авиаперевозок в стране и за рубежом, чтобы принять обоснованное решение по учету выбросов ПГ на международных линиях;
- изучено состояние вопроса по оценке выбросов ПГ от воздушных судов и подобраны соответствующие коэффициенты;
- обосновано, что коэффициенты выбросов ПГ, полученные в Европе, США и других странах, правомочно принимать для территории Казахстана, поскольку за небольшим исключением эксплуатируются воздушные суда или одного типа или одного технического уровня;
- изучены особенности работы авиатранспорта в Казахстане на современном этапе.

3. ПОРЯДОК РАСЧЕТОВ.

Существует три уровня для оценки выбросов CO_2 , CH_4 и N_2O от авиации. Методы уровней 1 и 2 используют данные о потреблении топлива, однако на

уровне 2 используется еще информация о количестве циклов взлетов и посадки. Чем выше использованный уровень, тем полнее и надежнее результаты. При использовании любого из уровней для оценки выбросов ПГ расчеты для внутренних и международных рейсов выполняются отдельно.

Общая схема принятия решений представлена на рис 1.

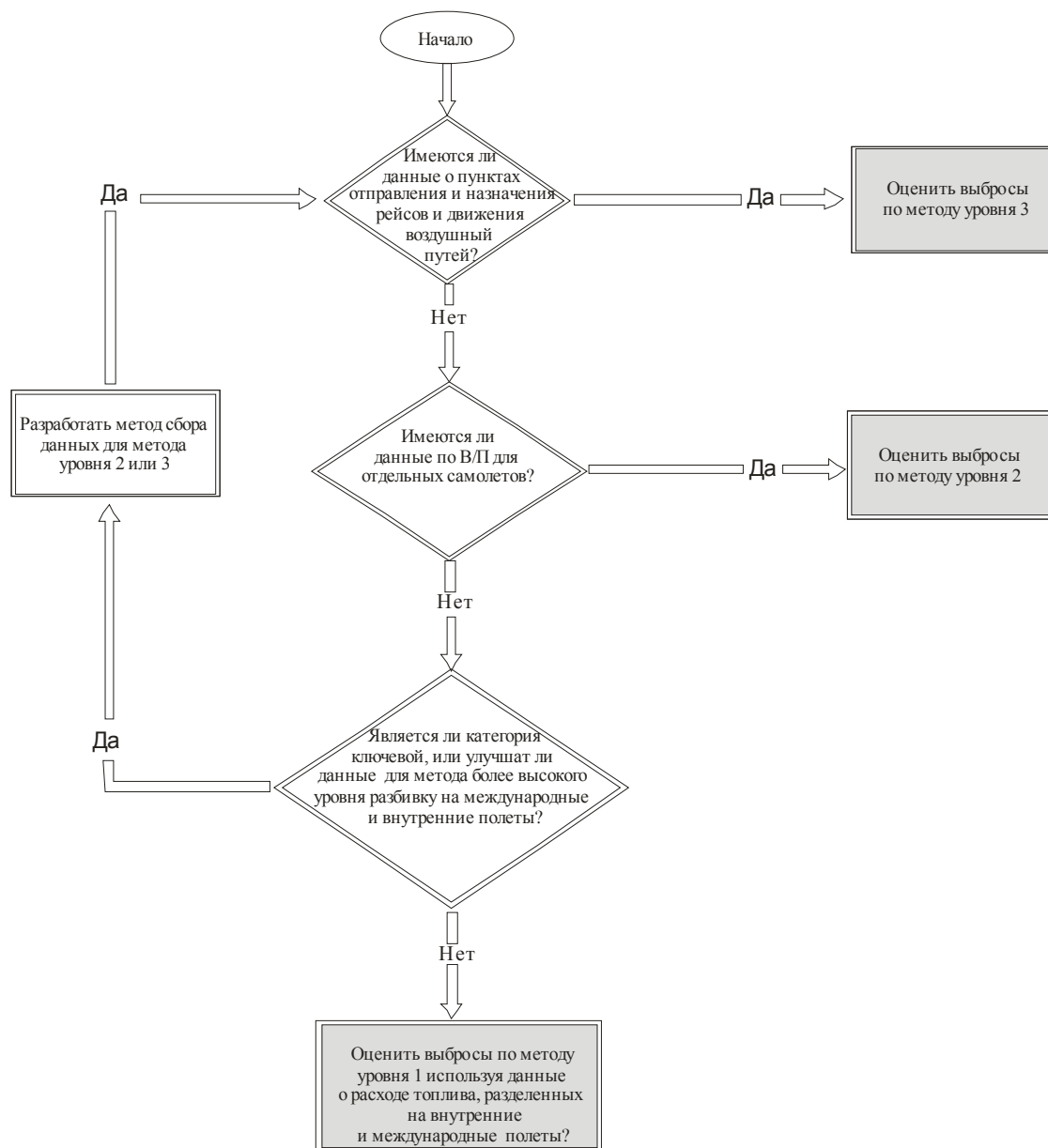


Рис. 1. Схема принятия решений для оценки ПГ

Как видно из рис. 1, общая схема выбора уровня расчетов зависит от полноты имеющихся данных.

Уровень 1 и его коэффициенты выбросов по умолчанию наиболее подходят для расчета выбросов ПГ от авиации, работающей на авиационном бензине.

Использование Уровня 2 требует дополнительно информации о количестве взлетов и посадок, т.е. отношения В/П по типам самолетов, а уровень 3а – также знания отношения В/П по пунктам вылета и назначения (таблица 1).

Таблица 1 Требования к данным для различных уровней.

| Данные, как внутренние, так и международные | Уровень 1 | Уровень 2 | Уровень 3А | Уровень 3В |
|--|-----------|-----------|------------|------------|
| Потребление авиационного бензина | X | | | |
| Потребление топлива для реактивных двигателей | X | X | | |
| Общее количество цикла В/П | | | | |
| Цикл В/П по типам самолета | | X | | |
| Пункты вылета и назначения (ВН) по типам самолета | | | X | |
| Полное полетное движение с данными по самолетам и двигателям | | | | X |

И, наконец, уровень 3В требует достаточно полных сведений о режиме движения самолета, работе его двигателей.

Анализ таблицы 1 в сочетании с имеющимися в Казахстане данными показывает, что реально возможным к использованию является уровень 1, а также для реактивных самолетов уровень 2. Расчеты по более высокому уровню желательны, но при появлении необходимых данных.

3.1. Метод уровня 1

Этот метод основан на совокупности данных о количестве использованного для авиации топлива (циклы В/П и крейсерский полет без их разделения), умноженного на средние коэффициенты выбросов:

$$M_{CO_2} = m_{\dot{n}} \times k_m \times k_b \quad (1)$$

где $m_{\dot{n}}$ – количество сожженного топлива воздушными судами с данным типом двигателя и использующих данный тип топлива, т;

k_m – переводной множитель, для перевода топлива, тыс.т – в терраДжоули ТДж;

k_b – коэффициент эмиссии парниковых газов для данного вида топлива;

Величины перечисленных выше коэффициентов для топлива, используемого в авиации, приведены в таблице 2, 3 и 4.

Таблица 2 Переводные множители для расчета выбросов CO_2

| № n/n | Множитель | Величина |
|---|--|----------|
| 1. Множитель k_m для перевода тыс.т. (или тыс м ³) в терраДжоули (ТДж) | | |
| | - бензин авиационный | 43,97 |
| | - керосин, включая реактивное топливо типа керосина | 43,21 |
| | - топливо реактивное типа бензин | 43,68 |
| | - масла | 40,19 |

Таблица 3 Коэффициенты выбросов CO_2 (k_b)

| Топливо | По умолчанию (кг/ТДж) | Нижний предел | Верхний предел |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| Авиационный бензин | 69 300 | 67 500 | 73 000 |
| Керосин для реактивных двигателей | 71 500 | 69 800 | 74 400 |

Таблица 4 Коэффициенты выбросов иных, чем CO_2 , газов N_2O

| Топливо | Коэфф. выбросов CH_4 по умолчанию (неконтролируемые) в (кг/ТДж) | Коэфф. выбросов N_2O по умолчанию (неконтролируемые) в (кг/ТДж) | Коэфф. выбросов NO_x по умолчанию (неконтролируемые) в (кг/ТДж) |
|---------------------|--|--|--|
| Все виды топлива | 0,5 (-57%/+100%) | 2 (-70%/+150%) | 250 ± 25% |

Результаты расчетов по каждому типу рейсов затем объединяются в общую таблицу.

3.2. Метод уровня 2

Метод уровня 2 требует наличия данных о деятельности на уровне конкретных видов самолетов и количеству В/П для местных и международных В/П.

Коэффициенты выбросов для цикла В/П в зависимости от типа самолета приведены в таблице 5.

Таблица 5 Коэффициенты выбросов для цикла В/П в зависимости для типичных самолета

| | Самолет | Коэффициенты выбросов В/П (кг/Вп) | | | | | | | Потребление топлива в цикле В/П (кг/ВП) |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------|-------|-----------------|---|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | ЛНОС | SO ₂ | |
| Большие коммерческие самолеты | A300 | 5450 | 0.12 | 0.2 | 25.86 | 14.80 | 1.12 | 1.72 | 1720 |
| | A310 | 4760 | 0.63 | 0.2 | 19.46 | 28.30 | 5.67 | 1.51 | 1510 |
| | A319 | 2310 | 0.06 | 0.1 | 8.73 | 6.35 | 0.54 | 0.73 | 730 |
| | A320 | 2440 | 0.06 | 0.1 | 9.01 | 6.19 | 0.51 | 0.77 | 770 |
| | A321 | 3020 | 0.14 | 0.1 | 16.72 | 7.55 | 1.27 | 0.96 | 960 |
| | A330200/300 | 7050 | 0.13 | 0.2 | 35.57 | 16.20 | 1.15 | 2.23 | 2230 |
| | A340-200 | 5S90 | 0.42 | 0.2 | 28.31 | 26.19 | 3.78 | 1.86 | 1860 |
| | A340-300 | 6380 | 0.39 | 0.2 | 34.81 | 25.23 | 3.51 | 2.02 | 2020 |
| | A340-500/600 | 10560 | 0.01 | 0.3 | 64.45 | 15.31 | 0.13 | 3.37 | 3370 |
| | 707 | 5890 | 9.75 | 0.2 | 10.96 | 92.37 | 87.71 | 1.86 | 1860 |
| | 717 | 2140 | 0.01 | 0.1 | 6.68 | 6.78 | 0.05 | 0.68 | 680 |
| | 727-100 | 3970 | 0.69 | 0.1 | 9.23 | 24.44 | 6.25 | 1.26 | 1260 |
| | 727-200 | 4610 | 0.81 | 0.1 | 11.97 | 27.16 | 7.32 | 1.46 | 1460 |
| | 737-100/200 | 2740 | 0.45 | 0.1 | 6.74 | 16.04 | 4.06 | 0.87 | 870 |
| | 737-300/400/500 | 2480 | 0.08 | 0.1 | 7.19 | 13.03 | 0.75 | 0.78 | 780 |
| | 737-600 | 2280 | 0.10 | 0.1 | 7.66 | 8.65 | 0.91 | 0.72 | 720 |
| | 737-700 | 2460 | 0.09 | 0.1 | 9.12 | 8.00 | 0.78 | 0.78 | 780 |
| | 737-800/900 | 2780 | 0.07 | 0.1 | 12.30 | 7.07 | 0.65 | 0.88 | 880 |
| | 747-100 | 10140 | 4.84 | 0.3 | 49.17 | 114.59 | 43.39 | 3.21 | 3210 |
| | 747-200 | 11370 | 1.82 | 0.4 | 49.52 | 79.78 | 16.41 | 3.60 | 3600 |
| | 747-300 | 11080 | 0.27 | 0.4 | 65.00 | 17.84 | 2.46 | 3.51 | 3510 |
| | 747-400 | 10240 | 0.22 | 0.3 | 42.88 | 26.72 | 2.02 | 3.24 | 3240 |
| | 757-200 | 4320 | 0.02 | 0.1 | 23.43 | 8.08 | 0.20 | 1.37 | 1370 |
| | 757-300 | 4630 | 0.01 | 0.1 | 17.85 | 11.62 | 0.10 | 1.46 | 1460 |
| | 767-200 | 4620 | 0.33 | 0.1 | 23.76 | 14.80 | 2.99 | 1.46 | 1460 |
| | 767-300 | 5610 | 0.12 | 0.2 | 28.19 | 14.47 | 1.07 | 1.77 | 1780 |
| | 767-400 | 5520 | 0.10 | 0.2 | 24.80 | 12.37 | 0.88 | 1.75 | 1750 |
| | 777-200/300 | 8100 | 0.07 | 0.3 | 52.81 | 12.76 | 0.59 | 2.56 | 2560 |
| | DC-10 | 7250 | 0.24 | 0.2 | 35.65 | 20.59 | 2.13 | 2.31 | 2310 |

Продолжение таблицы 5

| | Самолет | Коэффициенты выбросов В/П (кг/Вп) | | | | | | | Потребление топлива в цикле В/П (кг/ВП) |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------|--------|-----------------|---|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | NO _x | CO | ЛНОС | SO ₂ | |
| Местные реактивные самолеты | DC-8-50/60/70 | 5360 | 0.15 | 0.2 | 15.62 | 26.31 | 1.36 | 1.70 | 1700 |
| | DC-9 | 2650 | 0.46 | 0.1 | 6.16 | 16.29 | 4.17 | 0.84 | 840 |
| | L-1011 | 7300 | 7.40 | 0.2 | 31.64 | 103.33 | 66.56 | 2.31 | 2310 |
| | MD-11 | 7290 | 0.24 | 0.2 | 35.65 | 20.59 | 2.13 | 2.31 | 2310 |
| | MD-80 | 3180 | 0.19 | 0.1 | 11.97 | 6.46 | 1.69 | 1.01 | 1010 |
| | MD-90 | 2760 | 0.01 | 0.1 | 10.76 | 5.53 | 0.06 | 0.87 | 870 |
| | TU-134 | 2930 | 1.80 | 0.1 | 8.68 | 27.98 | 16.19 | 0.93 | 930 |
| | TU-154-M | 5960 | 1.32 | 0.2 | 12.00 | 82.88 | 11.85 | 1.89 | 1890 |
| | TU-154-B | 7030 | 11.00 | 0.2 | 14.33 | 143.0 | 107.13 | 2.22 | 2230 |
| | RJ-RJ85 | 1910 | 0.13 | 0.1 | 4.34 | 11.21 | 1.21 | 0.60 | 600 |
| | BAE146 | 1800 | 0.14 | 0.1 | 4.07 | 11.18 | 1.27 | 0.57 | 570 |
| | CRJ-I00ER | Z | 0.06 | 0.03 | 2.27 | 6.70 | 0.56 | 0.33 | 330 |
| | ERJ-145 | 990 | 0.06 | 0.03 | 2.69 | 6.18 | 0.50 | 0.31 | 310 |
| | Fokker 100/70/28 | 2390 | 0.14 | 0.1 | 5.75 | 13.84 | 1.29 | 0.76 | 760 |
| | BAC111 | 2520 | 0.15 | 0.1 | 7.40 | 13.07 | 1.36 | 0.80 | 800 |
| | Domier 328 Jet | 870 | 0.06 | 0.03 | 2.99 | 5.35 | 0.52 | 0.27 | 280 |
| | Gulfream IV | 2160 | 0.14 | 0.1 | 5.63 | 8.88 | 1.23 | 0.68 | 680 |
| | Gulfaream V | 1890 | 0.03 | 0.1 | 5.58 | 8.42 | 0.28 | 0.60 | 600 |
| | Yak-42M | 2880 | 0.25 | 0.1 | 10.66 | 10.22 | 2.27 | 0.91 | 910 |
| Мал Турбо- винтовые реак. | Cessna 525/560 | 1070 | 0.33 | 0.03 | 0.74 | 34.07 | 3.01 | 0.34 | 340 |
| | Beech King Air | 230 | 0.06 | 0.01 | 0.30 | 2.97 | 0.58 | 0.07 | 70 |
| | DHC8-100 | 640 | 0.00 | 0.02 | 1.51 | 2.24 | 0.00 | 0.20 | 200 |
| | ATR72-500 | 620 | 0.03 | 0.02 | 1.82 | 2.33 | 0.26 | 0.20 | 200 |

При всей полноте таблицы 4 в ней отсутствуют данные для ряда воздушных судов советского (российского) производства, находящихся в эксплуатации. Для них следует брать коэффициенты, приведенные для однотипных судов, приведенных в таблице 4.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Пусть предприятие имеет одно воздушное судно типа А-310. За прошедший год совершено 920 взлетов и посадок (В/П) и сожжено 92000 т керосина все рейсы международные (что характерно для ряда малых стран Европы). Очевидно, что расчеты можно выполнить на уровне 1, но с реализацией возможностей и уровня 2, т.к. имеются данные о количестве взлетов и посадок.

А. Расчет топлива по режимам полетов

А.1. Рассчитаем количество горючего, израсходованного в режиме В/П. Для этого воспользуемся последней колонкой таблицы 5, где указано, что А-310 использует на одну В/П 1510 кг топлива. Тогда на все взлет – посадки будет израсходовано:

$$\begin{array}{c} 1510 \times 920 = 1389200 \text{ кг} = 1389,2 \text{ т.} \\ \text{кг топлива} \quad \text{В/П} \end{array}$$

А.2. Тогда в крейсерском режиме сожжено топлива:

$$92\ 000 - 1389,2 = 90\ 610,8 \text{ т}$$

Следовательно, выбросы ПГ на крейсерском режиме можно рассчитать по уровню 1, а выбросы ПГ на этапах В/П – по уровню 2.

Б. Расчет выбросов ПГ на этапе В/П.

Воспользуемся данными таблицы 5 о выбросах CO_2 , CH_4 и N_2O самолетом А-310 на один полет В/П, а также данными о числе В/П:

Б.1. Выбросы CO_2 :

$$4760 \text{ кг} \times 920 = 4\ 279,2 \text{ т}$$

Б.2. Выбросы CH_4 :

$$0,63 \text{ кг} \times 920 = 0,57 \text{ т}$$

Б.3. Выбросы N_2O :

$$0,2 \text{ кг} \times 920 = 0,184 \text{ т}$$

Примечание: при расчете выбросов ПГ на этапе В/П количество сожженного топлива в расчетах не используется.

В. Рассчитаем выбросы ПГ на этапе крейсерского полета.

Поскольку имеются только данные о сожженном топливе, то расчеты выполним на уровне 1. При расчетах воспользуемся данными об удельных выбросах ПГ «по умолчанию» приведенных в таблицах 3 и 4, а так же данными таблицы 2 для перевода тыс.т. в терраДжоули.

В.1. Выбросы CO_2 :

$$90,611 \times 43,68 \times 71,5 = 282\,989,9 \text{ т}$$

В.2. Выбросы CH_4 :

$$90,611 \times 43,68 \times 0,0005 = 1,98 \text{ т}$$

В.3. Выбросы N_2O :

$$90,611 \times 43,68 \times 0,002 = 7,9 \text{ т}$$

Г. Найдем суммарные выбросы ПГ за год.

- по данному предприятию на международных рейсах;
- как сумму выбросов при В/П + крейсерские полеты.

$$\text{Выбросы } CO_2 = 282\,989,9 \text{ т} + 4\,279,2 \text{ т} = 287\,269,1 \text{ т}$$

$$\text{Выбросы } CH_4 = 1,98 \text{ т} + 0,57 = 2,55 \text{ т}$$

$$\text{Выбросы } N_2O = 7,9 \text{ т} + 0,184 \text{ т} = 8,08 \text{ т}$$

Примечание:

(1). При наличии у предприятия самолетов других типов выбросы ПГ рассчитываются по каждому из них, а затем сводятся воедино по предприятию.

(2) Расчеты выбросов ПГ на внутренних и международных рейсах ведутся отдельно, но по единой методике, как показано выше.

5. ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Использование методики расчета выбросов парниковых газов воздушными судами может привести к некоторой недооценке этих выбросов. Такая недооценка обусловлена следующим:

- обобщение в одну группу всех типов воздушных судов, имеющих поршневые двигатели, а в другую группу – судов с турбовинтовыми и турбореактивными двигателями;

- неучетом особенностей работы двигателей при прогреве, вырубании, взлете и посадке;

- неучетом доли испарившегося горючего.

Коэффициенты выбросов CO_2 обычно остаются в пределах $\pm 5\%$, поскольку они зависят только от содержания углерода в топливе и от окислившейся его доли, которую мы сейчас принимаем за 100 %.

Для других парниковых газов ситуация иная. Для уровня 1 неопределенность коэффициента выбросов CH_4 может колебаться от -57 до $+100\%$. Примерно в таких же пределах колеблются выбросы N_2O . Коэффициенты выбросов CH_4 и N_2O зависят еще от технологии, но для авиации на уровне 1, усредненные коэффициенты приемлемы.

Для уровня 2 требования к постоянству коэффициентов выбросов N_2O заметно выше. Они уже берутся разными для этапа В/П и движения по маршруту (крейсерский участок), изменяются в зависимости от высоты полета.

На неопределенности заметно влияет точность разделения данных на внутренние и международные рейсы. При тщательном анализе исходных данных ее можно снизить до 5 %.

Анализ выполненный рядом исследователей для США, показал, что при расчетах по уровню 2 недоучет может достигать 5-7 %. Недоучет при расчетах по уровню 1 составляет, в сумме до 8-10 %. Неучет сгорания испарения топлива завывает расчетные данные на величину ПГ за счет испарения топлива на 1-3% (в зависимости от типа топлива и типа воздушного судна). В среднем это превышение составляет 1-2 %.

Суммарная неопределенность, таким образом, находится в пределах 5-10 % от расчетной суммы.

Список используемых источников.

1. Руководство по инвентаризации атмосферных выбросов./ Совместный отчет ЕМЕП/ CORINAIR, под ред. Г. Макиннеса, изд. Европейского природоохранного агентства, 1996, 620 с.
2. EEA EMEP/ CORINAIR, Emission Inventory Guidebook, 2005/
<http://reports.eea.eu.int/emep/corinair/en>
3. EEA EMEP/ CORINAIR, Inventory Review/ - 2005-2008/ - Emission data reported to LRTAP Convention and NEC Directive. EMEP Technical Reports, 2006-2009.
4. Автомобильный транспорт Республики Казахстан ч. 1. 2008 г. /Агентство по статистике. – Астана, 2009.
5. Топливо-энергетический баланс Р.К., часть 2 и 3, 2008 г. / Агентство по статистике. – Астана, 2009.