

УДК 504.3.054

**В.Ю. Кориневская**, к.г.н., **И.В. Белоусова**, студ., **Т.П. Шанина**, к.х.н.  
*Одесский государственный экологический университет*

## **ОЦЕНКА ЭМИССИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЦИКЛЕ ПОСАДКА/ВЗЛЁТ (НА ПРИМЕРЕ МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА «ОДЕССА»)**

*Представлена характеристика воздействия авиатранспорта в результате осуществления цикла посадки/взлёт. Проведен сравнительный анализ методов расчёта величин выбросов различных веществ от авиатранспорта, на основании которых определены количественные показатели эмиссии в результате работы авиационного парка на территории международного аэропорта «Одесса».*

**Ключевые слова:** авиатранспорт, коэффициент выбросов, цикл посадки/взлёт, эмиссия.

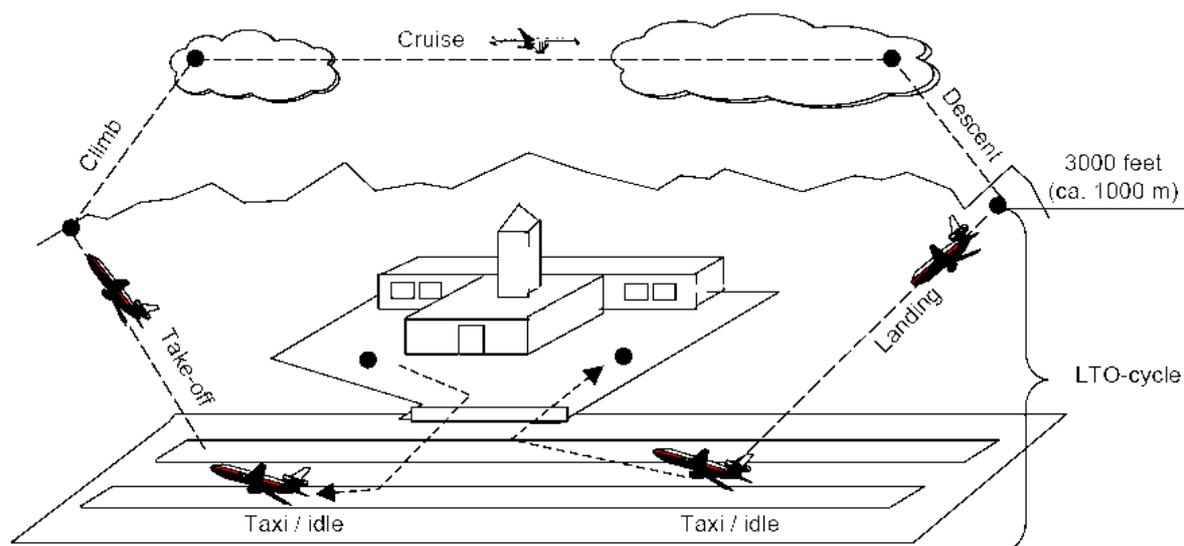
**Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами.** Авиатранспорт играет незаменимую роль в пассажирских перевозках на большие расстояния (свыше 1000 км) и динамично развивается. Объёмы авиаперевозок увеличиваются на 5 % в год. Кроме того, авиатранспорт является значительным потребителем топлива – он потребляет 2-3 % от всего используемого топлива в мире или 13 % от используемого транспортом, занимая второе место после автомобильного транспорта [1]. Естественно, что процессы сжигания такого количества топлива в авиационных двигателях сопровождаются образованием значительной массы продуктов горения, загрязняющих атмосферный воздух в приземном слое, в основном, в районе аэропортов. Так, на авиатранспорт приходится около 2-3 % суммарного поступления углекислого газа от антропогенных источников. Один реактивный самолёт потребляет в течение 1 ч 15 т топлива и 625 т воздуха, выбрасывает в атмосферный воздух 46,8 т диоксида углерода, 18 т паров воды, 635 кг оксида углерода, 635 кг оксидов азота, 15 кг оксидов серы, 2,2 кг твёрдых частиц [2]. На отработанные газы авиадвигателей приходится около 87 % выбросов от комплекса гражданской авиации, включая стационарные источники [1]. Продукты горения, содержащиеся в выхлопных газах авиадвигателей, являются «парниковыми» газами (углекислый газ, метан, вода), и озоноразрушающими веществами (оксиды азота). Это обуславливает необходимость оценки поступления веществ, содержащихся в отработанных газах двигателей самолётов, тем более, что оно зачастую не учитывается в природоохранных платежах как аэропорта, так и авиакомпаний – владельцев самолётов. Кроме того, начиная с 2012 года, наиболее крупные украинские авиакомпании будут включены в схему торговли выбросами Европейского Союза (EU ETS), а, значит, будут обязаны проводить систематический мониторинг и оценку эмиссии веществ собственного авиапарка [3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования процессов образования загрязняющих веществ (ЗВ) в двигателях авиатранспортных средств проводятся под руководством Комитета по защите окружающей среды от воздействия авиации (CAEP) – специального подразделения Международной организации гражданской авиации (ICAO). Руководящим документом по защите окружающей среды является Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации, которое состоит из двух томов – Том 1 «Авиационный шум»; Том 2 «Эмиссия авиационных двигателей» [4]. В данном документе содержатся рекомендации по определению эмиссии отработанных газов от двигателей путём отбора проб

отработанных газов и испытаний двигателей. В 1996 г. Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) была выполнена оценка эмиссии «парниковых» газов от авиатранспорта. Данной организацией разработаны две версии «Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов» [5, 6], в которых содержится методика определения величин выбросов веществ от авиатранспорта. Исследованием экологических проблем, связанных с эксплуатацией авиационных транспортных средств, также занимаются в Московском государственном техническом университете гражданской авиации [7, 8], Национальном авиационном университете (г. Киев) [9].

**Изложение основного материала исследования.** Согласно [5], технологические операции по выполнению полета включают в себя:

- *Цикл посадки/взлет* (цикл LTO), который включает все виды деятельности, выполняемые около аэропорта на высоте ниже 1000 м. Таким образом, он включает выруливание, взлет, начальный набор высоты и заход на посадку, саму посадку и руление на стоянку
- *Крейсерский полет*, который включает все виды деятельности на высоте выше 1000 м. Крейсерский полет включает подъем после набора высоты в цикле LTO до высоты крейсерского полета, крейсерование и снижение с крейсерской высоты до начала операции посадки LTO (рис. 1).



Take-off	Взлет
Climb	Набор высоты
Cruise	Крейсерование
Descent	Снижение
Landing	Посадка
LTO cycle	Цикл LTO
Taxi/idle	Выруливание/режим малого газа.

Рис. 1 – Схема полётного цикла авиатранспортного средства [5].

Непосредственно на территории аэропорта производится запуск двигателей, руление, взлёт и посадка самолётов, т.е. операции, при которых в атмосферу поступают отработанные газы от авиационных двигателей, работающих в местах предварительного старта (мест ожидания) и на взлетно-посадочной полосе. Рулёжные

дорожки считаются участками умеренного выделения газа вследствие кратковременности нахождения на них самолётов [5].

Концентрация веществ, входящих в состав отработавших газов авиадвигателей, и скорость их распространения по территории аэропорта в значительной степени зависит от метеорологических условий, особенно от скорости ветра и его направления. Другие факторы – температура и влажность воздуха, солнечная радиация – хотя и влияют на концентрацию веществ в атмосферном воздухе, однако это влияние выражено менее ярко и имеет более сложную зависимость.

Таким образом, при работе авиадвигателей в цикле посадка/взлёт (цикл ЛТО) происходит загрязнение нижних слоёв атмосферного воздуха, а при рулении – непосредственно на территории аэропорта. На осуществление цикла расходуется от 55 до 75 % всего топлива, потребляемого авиатранспортным средством, что определяет основную эмиссию веществ в рамках цикла ЛТО. Поэтому авторами была поставлена задача охарактеризовать изменение выбросов веществ по стадиям цикла ЛТО, а также оценить общую величину их эмиссии в атмосферный воздух на примере международного аэропорта «Одесса».

Международный аэропорт «Одесса» относится к группе наиболее крупных аэропортов Украины и связан воздушными линиями со многими городами Украины, СНГ, а также странами Западной Европы, Азии и Африки. В международный аэропорт Одессу на основе межправительственных соглашений, выполняются регулярные рейсы крупными авиакомпаниями мира (Австрийские авиалинии, Эль-Аль, LOT, Турецкие авиалинии и др.).

Основные сооружения аэропорта (взлетно-посадочная полоса, рулежные дорожки, места стоянок транспортных средств, авиационно-техническая база и др.) были построены в 1960-1961 гг. Деятельность предприятия за 2008 год характеризовалась такими показателями:

- Отправлено пассажиров – 107,8 тыс. чел;
- Отправлено грузов – 745,9 т;
- Прибыло пассажиров – 91,4 тыс. чел;
- Прибыло грузов – 3040,7 т;
- Количество самолетовылетов из аэропорта – 3265.

Служебно-техническая территория аэропорта имеет санитарно-защитную зону (СЗЗ) 50 м.

В течение 2008 г. наибольшее количество вылетов совершалось в июле (578), а наименьшее – в декабре (322). Структура полётов по типовым авиатранспортным средствам представлена на рис. 2.

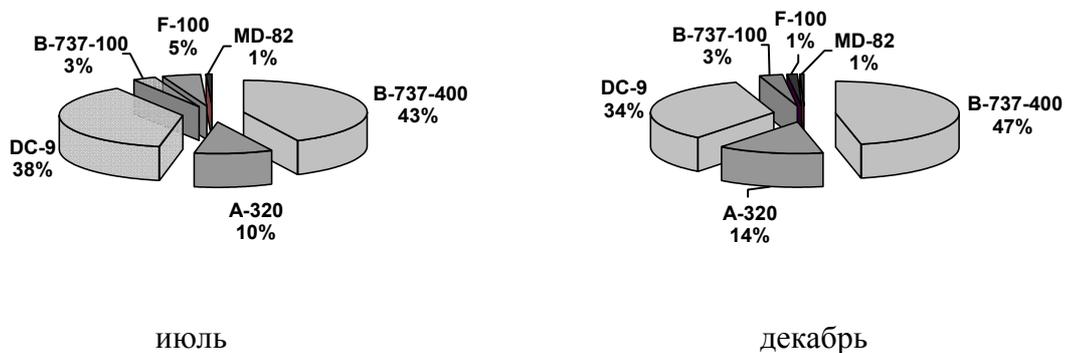


Рис. 2 – Структура полётов в международном аэропорту «Одесса» за 2008 г.

Как видно из приведенных данных, основное количество вылетов осуществлялось авиатранспортными средствами типа В-737-400, к которому относятся такие марки самолётов как В-737, В-734, В-735, В-733, В-736, В-738, Ту-134.

Для оценки эмиссии веществ на стадиях цикла ЛТО были рассмотрены две методики: Руководство по инвентаризации выбросов (2001) (далее – «Методика-2001») [5] и Руководящие принципы национальных инвентаризаций выбросов парниковых газов (2006 г.) (далее – «Методика-2006») [6]. При использовании указанных методик можно определить эмиссию таких веществ как углекислый газ, метан, оксиды азота, угарный газ, диоксид серы и летучие непредельные органические соединения (ЛНОС). Факторы, влияющие на количественный и качественный состав выбросов: тип авиатранспортного средства (тип двигателя), качество топлива, характер перевозок (дальность полётов). В используемых методиках не учитываются выбросы, которые образуются при запуске двигателей из-за недостатка информации для разработки надёжных методов оценки.

Величина выброса  $i$ -го вещества ( $M_i$ ) рассчитывается следующим образом:

$$M_i = k_{ij} \cdot N_j, \quad (1)$$

где  $k_{ij}$  – коэффициент выбросов  $i$ -го вещества  $j$ -ой маркой самолёта, кг/ЛТО;

$N_j$  – количество циклов ЛТО.

«Методика-2001» содержит информацию об удельных величинах выбросов веществ типовыми авиатранспортными средствами на разных стадиях цикла ЛТО и предполагает оценку выбросов таких ЗВ как оксиды азота, оксид углерода (II) и углеводороды. Также в данной методике содержится информация об удельных величинах выбросов, приходящихся на 1 кг потреблённого топлива. Необходимо отметить, что современные тенденции в развитии авиатехники предполагают снижение удельного потребления топлива, а, значит, и выбросов продуктов горения в атмосферный воздух. Однако, по мнению специалистов ИКАО, данная тенденция будет нивелироваться неуклонным ростом объёмов авиаперевозок [7].

Отличительными особенностями «Методики-2006» являются:

- 1) расширение перечня типов воздушных судов, для которых определены значения коэффициентов выбросов (от 19 до 52);
- 2) отсутствие информации о коэффициентах выбросов по стадиям цикла ЛТО;
- 3) изменение величин коэффициентов выбросов веществ (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что значения коэффициентов выбросов веществ подверглись следующим изменениям:

- 1) коэффициенты выбросов углекислого газа в «Методике-2006» несколько ниже, чем в «Методике-2001», за исключением самолётов F-100 и MD-82;
- 2) значительно уменьшились значения коэффициентов выбросов метана для самолётов В-737-400 и А-320;
- 3) для всех типов самолётов снизились значения коэффициентов выбросов оксидов азота;
- 4) практически в 3 раза снизилось значение коэффициента выброса СО для самолёта А-320, во столько же увеличилось для самолётов В-737-100 и DC-9; аналогичная тенденция характерна для коэффициентов выбросов углеводородов.

На основе «Методики-2001» можно определить изменение величин удельных выбросов веществ на различных стадиях цикла ЛТО. В Одесском аэропорту наибольшее количество вылетов совершается воздушными судами, объединёнными в

группу типового самолёта В-737-400. Поэтому при анализе изменений величин выбросов ЗВ на различных стадиях цикла LTO за основу будем рассматривать данный тип воздушного судна.

Таблица 1 – Коэффициенты выбросов веществ для различных типов авиатранспортных средств

Методика	Коэффициенты выбросов, кг/LTO						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	ЛНОС	SO <sub>2</sub>
В-737-400							
2001	2600	0,1	0,1	8,3	11,8	0,6	0,8
2006	2480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	0,78
А-320							
2001	2527	0,2	0,1	10,8	17,6	1,7	0,8
2006	2440	0,06	0,1	9,01	6,19	0,51	0,77
DC-9							
2001	2760	0,1	0,1	7,3	5,4	0,7	0,9
2006	2650	0,46	0,1	6,16	16,29	4,17	0,84
В-737-100							
2001	2897	0,1	0,1	8,0	4,8	0,5	0,9
2006	2740	0,45	0,1	6,74	16,04	4,06	0,87
F-100							
2001	2345	0,1	0,1	5,8	13,7	1,3	0,7
2006	2390	0,14	0,1	5,75	13,84	1,29	0,76
MD-82							
2001	3160	0,2	0,1	12,3	6,5	1,4	1,0
2006	3180	0,19	0,1	11,97	6,46	1,69	1,01

На рис. 3 представлено изменение удельных величин выбросов оксидов азота для самолёта В-737-400 по стадиям цикла LTO. Анализ изменения удельных величин выбросов на разных стадиях LTO показал, что наибольшее количество оксидов азота выбрасывается при наборе высоты, а наименьшее – при рулении. Характер изменения величин выбросов оксидов азота для других типовых авиатранспортных средств сохраняется.

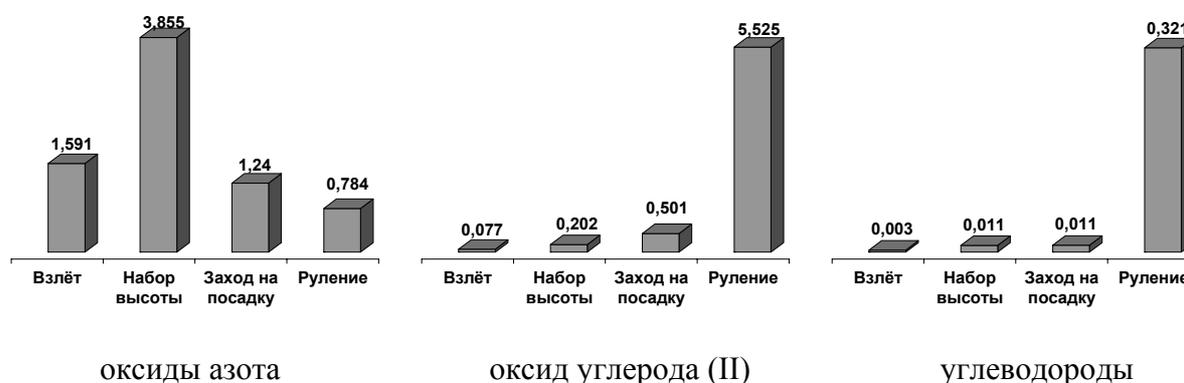


Рис. 3 – Изменение коэффициентов выбросов ЗВ (кг/цикл LTO) на стадиях цикла LTO для типа воздушного судна В-737-400.

Наибольшее количество угарного газа и углеводородов выбрасывается при выруливании и заруливании самолётов, а наименьшее – при взлёте (рис. 3). Представленные тенденции изменения величин выбросов данных ЗВ для воздушного судна В-737-400 сохраняются в случае с другими типами воздушных судов, за исключением А-320 (рис. 4).

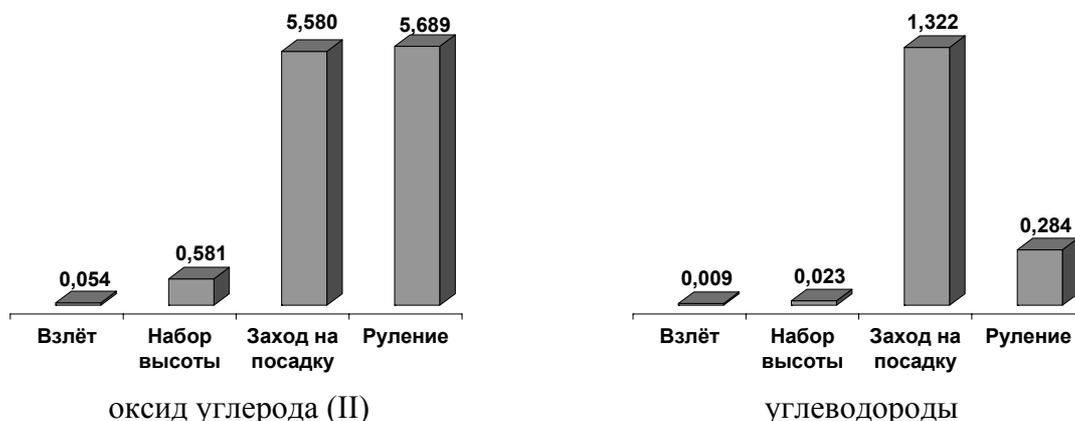


Рис. 4 – Изменение коэффициента выбросов угарного газа и углеводородов (кг/цикл LTO) для типа воздушного судна А-320.

На рис. 5 представлено изменение удельных величин выбросов оксидов азота для различных типов воздушных судов на стадии набора высоты.

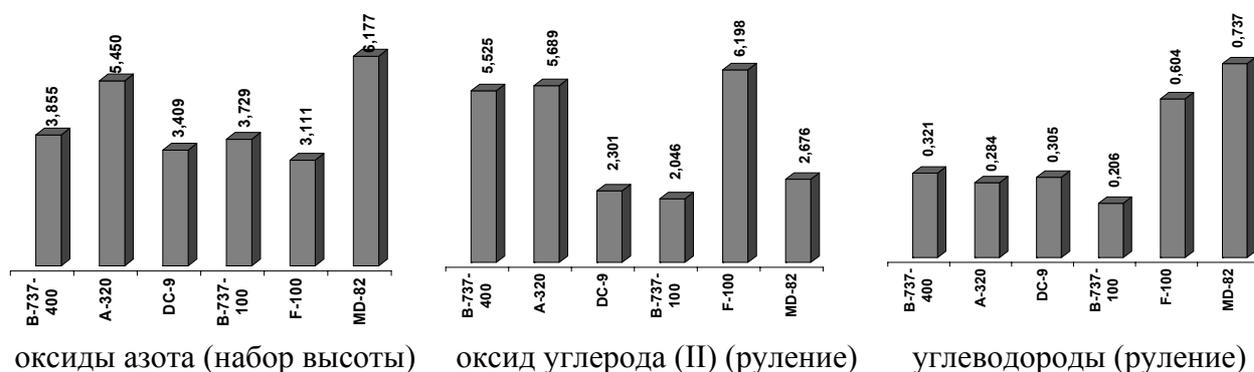


Рис. 5 – Изменение величин коэффициентов выбросов ЗВ (кг/цикл LTO) для различных типов самолётов на стадии, характеризующейся максимальной эмиссией.

Видно, что наибольшим выбросом оксидов азота характеризуются самолёты таких типов как А-320 и MD-82, наименьшим – F-100. Анализ изменения удельных величин выбросов оксида углерода на стадии руления в зависимости от типа воздушного судна показал, что наибольшее значение показателя характерно для самолётов В-737-400, А-320 и F-100, а наименьшее – В-737-100. Что касается эмиссии углеводородов на стадиях выруливания/заруливания, то наибольшее их количество поступает от двигателей самолётов MD-82 и F-100, а наименьшее – от В-737-100 (рис. 5).

На основе данных о количестве вылетов различных марок самолётов были рассчитаны валовые выбросы веществ от двигателей самолётного парка аэропорта

«Одесса» (табл. 2). Для выполнения расчётов по «Методике-2001» марки самолётов были сгруппированы в 6 типов: В-737-400, А-320, DC-9, В-737-100, F-100, MD-82.

При оценке выбросов веществ по «Методике-2006» были выделены следующие типы воздушных судов: В-737-400, А-320, DC-9, F-100, MD-82, ЯК-42, ТУ-154, А-319, ERJ-145, DC-8, ТУ-134, А-310. Это говорит о том, что «Методика-2006» позволяет выполнить более детализированные расчёты величин выбросов ЗВ.

Таблица 2 – Валовые выбросы веществ от авиапарка аэропорта «Одесса» (2008 г.)

Период	Величина выбросов $M_i$ , т						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	ЛНОС	SO <sub>2</sub>
«Методика-2001»							
июнь	1534,307	0,0642	0,0578	4,6663	5,6578	0,4564	0,4843
декабрь	854,745	0,0369	0,0322	2,6691	3,2772	0,2572	0,2697
«Методика-2006»							
июнь	1459,930	0,0997	0,0558	4,4024	7,4652	0,9055	0,4607
декабрь	805,290	0,0490	0,0311	2,5119	4,0775	0,4449	0,2539

Видно, что количество веществ, поступающих в декабре, в два раза меньше, чем в июле. Сравнение результатов расчётов величин выбросов веществ по разным методикам показало, что использование «Методики-2006» даёт более высокие значения эмиссии таких ЗВ как метан, угарный газ и углеводороды. Особенно существенно различие в случае углеводородов. Значение валового выброса углекислого газа, полученное по «Методике-2006», несколько ниже полученного по «Методике-2001». Для остальных веществ значения валовых выбросов, полученные по двум методикам, практически совпадают.

В целом, поступление веществ, образующихся в цикле ЛТО авиапарка, который обслуживается международным аэропортом «Одесса», является существенным фактором, определяющим экологическую ситуацию в районе аэропорта. В табл. 3 представлены величины годового выброса ряда веществ, поступающих в атмосферный воздух от воздушных судов, а также их «автомобильные» эквиваленты – т.е. количество автомобилей, выбрасывающих за год такую же массу каждого из веществ.

Таблица 3 – Оценка эмиссии веществ от авиапарка аэропорта «Одесса» (2008 г.)

№ п/п	Вещество	Масса выброса, т/год	«Автомобильный» эквивалент, шт.
1	Углекислый газ	13962,82	4296
2	Угарный газ	61,43	116
3	Углеводороды (в т.ч. и метан)	6,94	75
4	Оксиды азота	42,75	6107

Анализ полученных в табл. 3 результатов показывает, что авиатранспорт играет существенную роль в загрязнении атмосферного воздуха города углекислым газом и оксидами азота.

#### **Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.**

Таким образом, эксплуатация воздушных судов является существенным источником загрязнения атмосферного воздуха, прежде всего в районе аэропортов. Основная часть угарного газа и углеводородов образуется при рулении и загрязняет приземный слой атмосферного воздуха непосредственно в районе аэропортов, а

наибольшее количество оксидов азота образуется при наборе самолётом высоты. Оценка эмиссии веществ в цикле ЛТО позволяет заключить, что самолет является существенным источником поступления в атмосферу «парниковых» газов (особенно CO<sub>2</sub>) и оксидов азота.

### Список литературы

1. *Aviation and Global Atmosphere*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 350 p.
2. Павлова Е.И., Бураев Ю.В. Экология транспорта – М.: Транспорт, 1998. – 234 с.
3. Включення українських авіакомпаній до схеми торгівлі викидами ЄС: що робити і чого чекати? ([www.law-now.com/cmck/pdfs/nonsecured/ukraviaineuets.pdf](http://www.law-now.com/cmck/pdfs/nonsecured/ukraviaineuets.pdf)).
4. Приложение 16 к Конвенции о Международной гражданской авиации «Охрана окружающей среды». – ИКАО, 2008. – Том 2: «Эмиссия авиационных двигателей». – 118 с.
5. *Руководство по инвентаризации выбросов парниковых газов*. – М., 2002. – Раздел Воздушные перевозки. – С. В851-24 – В851-54.
6. *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК*, – М., 2007. – Том 2: Энергетика. – С. 3.62 – 3.82.
7. Николайкина Н.Е., Николайкин Н.И., Матягина А.М. Промышленная экология. Инженерная защита биосферы от воздействия воздушного транспорта. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 232с.
8. Николайкин Н.И. Регулирование состояния антропогенно-изменённых экосистем вокруг комплексов авиапредприятий в жизненном цикле авиаперевозок // Научный вестник МГТУ ГА. – 2010. – № 162. – С. 22-30.
9. Франчук Г.М., Ісаєнко В.М. Екологія, авіація і космос. – К.: НАУ, 2005. – 450 с.

#### **Оцінка емісії забруднювальних речовин в циклі посадка/зліт (на прикладі міжнародного аеропорту «Одеса»). Кориневська В.Ю., Білоусова І.В., Шанина Т.П.**

*Представлена характеристика впливу авіатранспорту в результаті здійснення циклу посадка/зліт. Проведений порівняльний аналіз методик розрахунку величин викидів різних речовин від авіатранспорту, на підставі яких визначені кількісні показники емісії в результаті роботи авіаційного парку на території міжнародного аеропорту «Одеса».*

**Ключові слова:** авіатранспорт, коефіцієнт викидів, цикл посадка/зліт, емісія.

#### **The assessment of contaminant emission in the landing/flight cycle (on the example of the Odessa international airport). Korinevskaya V., Belousova I., Shanina T.**

*The characteristic of air transport effect as a result of realization of cycle landing/flight is presented. It was conducted the comparative evaluation of calculation methods of substances emission values from air transport, on the basis of which the quantitative parameters of emission as a result of aviation fleet work on a territory of the Odessa international airport were obtained.*

**Keywords:** air transport, coefficient of emission, cycle of LTO, emission.