

УДК 504.06:656.71(043.2)

І.Л. ТРОФІМОВ, канд. техн. наук, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет, Україна, м. Київ, пр. Космонавта Комарова 1

АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Розглянуто проблему забруднення атмосфери авіаційним транспортом України та узагальнено шляхи її вирішення. Досліджено вплив емісії авіаційних двигунів на екологічний стан України. Проаналізовано напрямки зменшення забруднення атмосфери літаками, виявлено їх переваги та недоліки. Запропоновано розглянуту проблему вирішувати одночасно у таких чотирьох напрямках: хімічному, конструкційному, економічному та впровадження на авіаційному транспорті альтернативних видів енергії.

Ключеві слова: аеропорт, атмосфера, авіаційний транспорт, емісія двигунів, екологічна безпека, екологічні показники, забруднення, довкілля, шум, викиди.

УДК 504.06:656.71(043.2)

И.Л. ТРОФИМОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры экологии, Национальный авиационный университет, Украина, г. Киев, пр. Космонавта Комарова 1

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Рассмотрена проблема загрязнения атмосферы авиационным транспортом Украины и обобщенно пути ее решения. Исследовано влияние эмиссии авиационных двигателей на экологическое состояние Украины. Проанализированы направления уменьшения загрязнения атмосферы самолетами, обнаружены их преимущества и недостатки. Предложено рассмотренную проблему решать одновременно в таких четырех направлениях: химическому, конструкционному, экономическому и внедрение на авиационном транспорте альтернативных видов энергии.

Ключевые слова: аеропорт, атмосфера, авіаційний транспорт, емісія двигателів, екологічна безпека, екологічні показники, забруднення, навколишнє середовище, шум, виброси.

UDC 504.06:656.71(043.2)

TROFIMOV IGOR, Candidate of engineering sciences, associate professor Department of ecology, National aviation university, Ukraine, Kyiv, Prospectus Komarova 1,

ANALYSIS AVIATION TRANSPORT INFLUENCE ON ATMOSPHERE POLLUTION

The problem of atmosphere contamination by air transport of Ukraine and generalized ways of it solution is a main question in this article. The primary purpose of the work was an analysis of jet engines emissions impact on the state of atmosphere in Ukraine, and also generalization of the ways for problem solving. Directions of atmosphere contamination diminishing are analyzed, their advantages and disadvantages are found out. It is stated that decision of the problem of atmospheric air contamination by air transport must be complex. Existed methods minimizing pollution of atmosphere are analyzed. However they can solve some certain task only and do not provide diminishing of harmful influence from all factors. The decision for investigated problem is offered via simultaneous restriction of four ecological indexes of jet engines emissions: chemical, construction, economic and introduction of alternative types of energy in aviation. The results of researches can be applied in sphere of ecology and environmental protection. The results of the work can be applied by experts-environmentalists, and also power engineering specialists as well as chematologists in area of rational use of aviation fuels.

Keywords : air-port, atmosphere, air transport, emission of engines, ecological safety, ecological indexes, contamination, environment, noise, extras.

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у статті, відносяться до галузі екології. Відкритим та актуальним питанням на сьогодні залишається проблема стану екології планети в цілому. Внаслідок науково-технічної революції, людство потерпає від надмірного забруднення шкідливими речовинами оточуючого середовища: повітря, водних та земельних ресурсів. Зокрема, цивільна авіація є не останньою ланкою, яка становить реальну загрозу для атмосфери з позиції забруднення викидними газами та утворення «дірок» в озоновому шарі нашої планети.

З вирішенням проблем екологічної безпеки в Україні нерозривно пов'язані питання оцінки і зменшення несприятливого впливу об'єктів цивільної авіації на стан атмосферного повітря. У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення актуальних екологічних проблем усім спектром транспортної, виробничої, інтелектуальної і соціальної діяльності за рахунок державної та галузевої систем екологічного управління.

2. Аналіз літературних джерел за темою дослідження і постановка проблеми

Аналіз джерел [1–4] показує, що під час експлуатації авіаційної техніки відбувається забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосферного повітря. Автор праці [5] показав, що специфіка впливу повітряного транспорту на довкілля виявлена в значній шумовій дії та значних викидах різноманітних забруднюючих речовин. Викиди з авіаційних двигунів та стаціонарних джерел становлять важливий аспект впливу повітряного транспорту на екологічну ситуацію. Крім того, авіація має ряд відмінностей порівняно з іншими видами транспорту: використання здебільшого газотурбінних двигунів зумовлює інший характер протікання процесів і структуру викидів відпрацьованих газів; використання гасу як палива призводить до зміни компонентів забруднюючих речовин; польоти літаків на великій висоті зумовлюють розсіювання продуктів згоряння у верхніх шарах атмосфери і на великих територіях, що знижує ступінь їх впливу на живі організми.

Аналіз праці [6] дав змогу встановити, що повітряні кораблі забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами авіаційних двигунів поблизу аеропортів і верхні шари атмосфери на висотах крейсерського польоту. Гази становлять 87 % всіх викидів цивільної авіації, які містять також атмосферні викиди спецавтотранспорту та стаціонарних джерел.

Як відомо, впродовж останніх років відбувається значне навантаження на навколишнє середовище, що супроводжується збільшенням авіаперевезень на 4-5%. Цей процес є незворотнім і відбувається як на глобальному, так і на локальному рівні. Дослідження чинників, які визначають рівень екологічної безпеки в околицях аеропортів, показали, що авіаційний шум та емісія забруднюючих речовин авіаційними двигунами, електромагнітні випромінювання здійснюють найбільший вплив на якість довкілля.

Відомим є і те, що стратосферний озон є природнім фільтром, який поглинає ультрафіолетове випромінювання сонця. У результаті людської діяльності в атмосферу потрапляють деякі сполуки, що руйнують рівновагу між процесами створення і руйнування озону. Найбільш важливим із цих сполук є хлорфторвуглеводні (фреони), галогени, тетрахлоретан і метил хлороформ. Усі вони залишаються хімічно інертними в нижніх шарах атмосфери і переміщуються в стратосферу. Вплив на них ультрафіолетових променів звільняє хлор і бром, які діють в якості каталізатора процесу руйнування озону.

Автором праці [7] показано, що сучасний аеропорт першого класу викидає в атмосферу щорічно декілька десятків тон NOx. Розрахунок NOx, які викидаються авіадвигунами під час польоту повітряних суден по трасам, становить значну складність, однак відомо, що індекс емісії NOx двигунів, що експлуатуються, складає від 10 до 40 на злітному режимі і від 5 до 20 на крейсерському режимі (в грамах NOx на кілограм палива). Таким чином, сумарний щорічний викид NOx в атмосферу Землі повітряним транспортом складає сотні тисяч тон, що не дає підстав нехтувати впливом даних викидів на вміст озону.

Під час визначення загальної кількості шкідливих речовин авіаційним спеціалістам доводиться сумувати оксиди азоту з вуглеводнями, оксидами сірки, оксидом вуглецю і навіть з твердими частинками сажі. Але на мою думку, з екологічної та хімічної точки зору таке сумування шкідливих відпрацьованих речовин є некоректним.

Авторами праці [8] показано, що актуальними є методи підвищення екологічних властивостей авіаційного палива за рахунок підвищення його якості. Підвищити екологічні показники палива можна за рахунок зменшення вмісту в ньому сірки, ароматичних вуглеводнів (особливо бензолу), фактичних смол, олефінів та свинцю. А також шляхом додавання відповідних присадок, наприклад, іонол (у вітчизняному асортименті – Агідол - 1). Провівши ряд дослідів, автори прийшли до висновку, що перехід України на паливо марки Jet A, пов'язаний з раціональним використанням нафтопродукту, не змінить екологічні показники палива, якщо не будуть проведені зміни в камерах згорання.

Відповідно до джерела [9] особливості впливу повітряних суден на довкілля пов'язані, по-перше, з тим, що сучасний парк літаків та гелікоптерів має газотурбінні двигуни. По-друге, газотурбінні

двигуни працюють на авіапаливі, хімічний склад якого дещо відрізняється від автомобільного бензину та дизельного палива кращою якістю з меншим вмістом сірки та механічних домішок. По-третє, головна маса відпрацьованих газів викидається повітряними суднами безпосередньо у повітряному просторі на відносно великій висоті, при високій швидкості та турбулентному потоці, і лише невелика частка – у безпосередній близькості від аеропортів та населених пунктів. Загальний викид токсичних речовин повітряними апаратами може бути приблизно оцінений об'ємом спожитого авіацією палива, котрий складає близько 4% від загальних витрат палива усіма видами транспорту. Таким чином, частка забруднень авіатранспортом поза зоною аеропорту відносно невелика, але уточнені дані відсутні.

Як відомо, основними компонентами, які забруднюють довкілля, є: окис вуглецю, неспалені вуглеводні, окиси азоту та сажа. На режимах холостого ходу та під час руху по рулівних доріжках, під час заходу на посадку у відпрацьованих газах суттєво збільшується вміст окису вуглецю і вуглеводів, але при цьому зменшується кількість окису азоту.

В режимі сталого польоту, коли двигуни працюють без перевантаження на 35-50% своєї потужності з оптимальними параметрами, вміст окису вуглецю та вуглеводів зменшується, але збільшуються викиди окисів азоту. Найбільші викиди сажі та димлення відбувається при зльоті та наборі висоти, коли двигуни працюють з перевантаженням в 1,1-1,2 рази відносно своєї номінальної потужності і, як правило, на збагаченій паливній суміші.

Також, за даними джерел [1, 9] найбільше забруднення довкілля відбувається в зоні аеропортів під час посадки і зльоту літаків, а також під час прогрівання їх двигунів. Підраховано, що при 300 зльотах і посадках трансконтинентальних авіалайнерів за добу в атмосферу поступає 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводневих з'єднань і 1,7 т оксидів азоту. При цьому забруднюючі речовини поступають в атмосферу не рівномірно, а залежно від графіка роботи аеропорту. Під час роботи двигунів на зльоті і посадці в довкілля поступає найбільша кількість оксиду вуглецю і вуглеводневих з'єднань, а в процесі польоту - максимальна кількість оксидів азоту. Реактивному лайнеру, що здійснює трансатлантичний переліт, потрібно від 50 до 100 т кисню. Але самим небезпечним визнано те, що під час польоту в нижніх шарах стратосфери двигуни надзвукових літаків виділяють окиси азоту, що призводять до окислення озону, який грає роль щита проти негативної дії ультрафіолетових сонячних променів.

У джерелі [10] досконало описано процес емісії авіаційних двигунів – викидів в атмосферне повітря відпрацьованих газів соплами і вихлопними патрубками авіаційних двигунів. Повністю описано склад відпрацьованих газів (інгредієнтів), які забруднюють атмосферу. Автором цієї праці встановлено, що найбільш тривалим і небезпечним з екологічної точки зору є режим малого газу (відносна тяга складає 3...9% від її максимального значення). Такі мінімальні значення відносної тяги двигуна мають місце при рульній перед зльотом і після посадки, а також під час прогрівання двигуна після запуску. Експериментально доказано, що забруднення в зоні аеропорту є більш шкідливим (на маршруті значення відносної тяги лежить в межах 0,6-0,8). Крім того, локальне забруднення приземного шару повітря в зоні аеропорту, де працює багато людей, є більш концентрованим і стійким, ніж загальне забруднення верхніх шарів тропосфери на маршруті польоту. Аналіз цієї праці дозволяє стверджувати, що викид шкідливих речовин (тобто, емісія авіадвигуна) залежить від режиму його роботи і тривалості роботи на цьому режимі.

Цікаві результати також отримані авторами праці [11]. Дослідниками було встановлено, що забруднення атмосфери можна достовірно оцінювати на підставі характеристики атмосферних опадів. Застосувавши регресійний аналіз експериментальних даних дослідження вмісту важких металів у пробах снігу, відібраних у зоні аеропорту, було одержано результати, які показали, що концентрація важких металів у пробах снігу в зоні аеропорту суттєво підвищується з наближенням до аеропорту, причому значно більшим є забруднення старого снігу.

Аналіз літературних джерел, присвячений забрудненню атмосферного повітря авіаційним транспортом свідчить про недостатнє висвітлення цієї проблеми в науковій літературі. Тому актуальність роботи зумовлена відсутністю достатньої кількості даних щодо впливу авіаційних транспортних процесів на стан атмосферного повітря.

3. Мета і задачі дослідження

Мета роботи полягала в аналізі проблеми забруднення атмосфери авіаційним транспортом та в узагальненні шляхів її вирішення.

4. Узагальнення шляхів вирішення проблеми забруднення атмосфери авіаційним транспортом

Проблема забруднення атмосфери авіаційним транспортом не вичерпується лише вивченням і оцінкою впливу газових і аерозольних продуктів згоряння авіаційних двигунів на озоновий шар. Існує кілька аспектів прояву наслідків такого забруднення:

- фотохімічний: виражений у зміні співвідношення між концентраціями малих, але важливих складових атмосферного повітря внаслідок протікання фотохімічних реакцій. Тобто ріст одних атмосферних газів (а також аерозолів) супроводжується зменшенням інших газових компонентів повітря;

- радіаційний: коливання в складі парникових газів (вуглекислого газу CO_2 , водяної пари H_2O , озону O_3 , метану CH_4 і ін.), аерозолів і особливо утворення перистих хмар ведуть до зміни теплового і радіаційного балансів системи Земля-атмосфера, а отже, і до зміни температури повітря в атмосфері та і на земній поверхні;

- біологічний: виражений впливом потоку біологічно активного ультрафіолетового випромінювання на рівні поверхні Землі, інтенсивність якого залежить від товщини озонового шару. Як відомо, ультрафіолетове випромінювання є небезпечним для здоров'я людей, тварин та знижує продуктивність деяких видів рослин.

Таким чином, фактом залишається те, що викиди авіаційних двигунів впливають на життєво важливі елементи екосистеми: якість повітря, його температуру, атмосферну циркуляцію і клімат, потік ультрафіолетової радіації.

Газотурбінні двигуни, що переважно застосовуються на сучасному повітряному транспорті, є вагомими споживачами вуглеводневих палив і атмосферного кисню, одночасно являються джерелами забруднення атмосфери відпрацьованими газами. В суміші продуктів згорання палива з надлишком повітря міститься ряд шкідливих речовин, що регламентуються санітарно-гігієнічними нормами і вимогами Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) [2].

На мою думку, з екологічної і хімічної точки зору правильним та доцільним є сумування викидів шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу під час роботи авіадвигунів на різних режимах, з використанням коефіцієнта відносної агресивності шкідливої речовини (A_i) $\{A_{\text{CO}}=1; A_{\text{CH}}=3,16; A_{\text{SOx}}=16,5; A_{\text{NOx}}=41,1; A_{\text{тв.ч}}=300\}$.

Екологічний варіант сумування газоподібних речовин дає можливість визначити, яку відсоткову долю окрема речовина має в загальній масі емісії нормованих газоподібних речовин (табл.1) [1, 2].

Таблиця 1

Доля окремих шкідливих речовин в загальній масі емісії

Авіаційний двигун	Степінь підвищення тиску $П/00$	Доля шкідливої речовини, %		
		CO	CH	NOx
Варіант а*	10	4,46	2,34	93,20
	20	3,40	1,78	94,82
Варіант б*	10	5,48	2,88	91,64
	20	4,20	2,20	93,60

* Норми ICAO:

а) для двигунів типу або моделі, перший серійний зразок яких виготовлений 31 грудня 1995 року або до цієї дати і конкретний екземпляр яких виготовлений 31 грудня 1990 року або до цієї дати;

б) для двигунів типу або моделі, перший серійний зразок яких виготовлений після 31 грудня 1995 року або до цієї дати і конкретний екземпляр яких виготовлений після 31 грудня 1990 року або до цієї дати.

Використовуючи коефіцієнт відносної агресивності A_i , можна визначити, на скільки відсотків зміниться нормативний рівень емісії (вимоги ICAO) газоподібних речовин турбореактивних і турбовентиляторних авіаційних двигунів.

Останнім часом на практиці для зменшення шкідливих викидів в атмосферу широко застосовується метод скорочення кількості працюючих авіадвигунів під час руління повітряного судна в зоні аеропорту.

Збільшення вмісту вуглеводнів у паливі, як правило, супроводжується збільшенням його в'язкості, щільності, поверхневого натягу, що погіршують розпил і випаровування палив. Отже, на двигунах повинно спостерігатись взаємно протилежний вплив палив на емісію NOx на режимах малого газу і максимальному режимі. Паралельно з вивченням природи шкідливих викидів і механізму їх впливу на навколишнє середовище є доцільним продовжувати розробку нових камер згорання і нових концепцій двигунів. Конструкційні зміни в камерах згорання повинні бути направлені на підвищення повноти згорання палива. Під час проектування авіаційних двигунів брати за основу такі сучасні камери згорання, як: гомогенні, із змінною геометрією, гібридні, струйно-стабілізаторного типу, каталітичні.

Закономірність утворення NOx в камерах згорання газотурбінних двигунів визначає два основних шляхи зниження емісії указаних оксидів:

- зниження температури в першій зоні камери згорання;
- зменшення часу перебування газів в зоні високих температур.

Зважаючи на складність запропонованих вище методів, розглянемо дещо простіші заходи покращення показників, які впливають на забруднення атмосфери продуктами емісії авіаційних двигунів.

Відомо, що збільшення злітної ваги сучасного реактивного лайнера на 3-4% приводить до збільшення витрат палива на 150-200 кг на час польоту, а, отже, збільшення емісії CO₂ в атмосферу на 470-630 кг. Логічно можна запропонувати такі приклади економії палива:

- зниження злітної ваги за рахунок залишення на землі одного з трьох баків з водою літака Boeing – 747-200 (у випадку, якщо він не є необхідним в даному конкретному рейсі) дозволить зекономити 380 т палива в рік, а отже знизити емісію CO₂ в атмосферу на 1200 т;
- економія 52 т палива і зниження емісії газу на 165 т за рахунок заміни металічного баку для води пластмасовим;
- зменшення опору повітряного судна, викликаного забрудненням поверхні брудом на 1% зменшить витрату палива на 15000 галонів в рік для Boeing – 737, або на 100000 галонів для Boeing – 737;
- зменшення забруднення двигуна призведе до збільшення коефіцієнту питомої витрати пального (SFC). Як відомо, періодичне промивання дозволяє покращити SFC на 1,5% і знизити CO₂ з 290 до 190 т в рік.

Крім того заплановане на 2015 рік використання в Європі і США комплексної системи комунікацій, навігації, наведення і управління повітряним рухом (CNS/ATM) має забезпечити зниження витрат палива і емісії CO₂ приблизно на 5%.

Варто також звернути увагу на можливість упровадження та використання на авіаційному транспорті альтернативних палив. Так, відомо, що одним із «чистих» палив є водень, і так звані криогенні палива. Незважаючи на недоліки водню як транспортного палива, пов'язані з його низькою щільністю та низькою температурою кипіння (20 К), він вважається більш перспективним для повітряного транспорту, ніж для інших видів. При цьому, чим більша швидкість та маса літака, тим доцільніше використання двигунів, які працюють на водні.

На сьогодні у якості інноваційних розробок пропонується впроваджувати для живлення тягових електродвигунів сонячні батареї, розміщені на поверхні крил та фюзеляжі. Теоретично, такий літак може знаходитися в повітрі стільки, скільки сонячні промені його освітлюють. У цьому випадку зліт літака здійснюється за рахунок накопиченої енергії, а підтримання в польоті відбувається за рахунок енергії, яка надходить від сонячного випромінювання. І хоча фахівці авіаційної галузі скептично і з недовірою відносяться до встановлення таких силових агрегатів на літаки цивільної та воєнної авіації, на мою власну думку, ця ідея заслуговує на життя та проведення натурних експериментів з макетними літаками.

5. Висновки

Проаналізовано проблему забруднення атмосфери авіаційними двигунами, у результаті чого:

- визначено глобальний та локальний характер проблеми (глобальний – пов'язаний із зміною хімічного складу атмосферного повітря, локальний – із високим рівнем шумового забруднення);
- узагальнено шляхи вирішення даної проблеми.

Встановлено, що вирішення проблеми забруднення атмосфери авіаційним транспортом повинно бути комплексним. Проаналізовані напрямки зменшення забруднення атмосфери літаками вирішували тільки якусь конкретну задачу та не забезпечували зменшення шкідливого впливу усіх чинників.

Як результат, пропонується комплексно і одночасно вирішувати розглянуту проблему у таких чотирьох напрямках покращення екологічних показників емісії авіаційних двигунів: хімічному, конструкційному, економічному та впровадження на авіаційному транспорті альтернативних видів енергії.

Хімічний напрямок базується на удосконаленні вуглеводневого складу палива та додаванні певних присадок і добавок.

Конструкційний – на удосконаленні процесу горіння палива в камері згорання та удосконаленні самої камери згорання.

Економічний – на зниженні витрат палива за рахунок зменшення злітної ваги, опору літака, підвищення чистоти двигуна, зниженого ешелонування, а також ефективного пілотуванні повітряного судна в зоні аеропорту.

Література

1. Airplane of Airbus A380. Ecological descriptions. Airline of «Emireyts», 2012.
2. Приложение 14 к Конвекции о Международной организации гражданской авиации. Воздушные судна – Монреаль, 2009. – 350 с. – [ICAO. Международные стандарты и рекомендуемая практика]. – Режим доступа: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Annexes/an14_v1_5ed_cons_ru.pdf.
3. Чирва, Л.А. Актуальні питання підвищення екобезпеки в аеропортах [Текст] / Л.А. Чирва, А.Э. Гай // IV-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2013), 25-27 вересня, 2013. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво- друкарня ДІЛО, 2013. – С. 65-67.

4. Ноздрин, В.И. Эффективность инициативных мер по снижению расхода топлива и загрязнения окружающей среды [Текст] / В.И. Ноздрин // Проблемы безопасности полетов. – 2003. – №7. – С. 35-38.
5. Ehhat D.H., Rother F., Wather A. Sources and distribution of Nox in the upper troposphere at nortem mid-latitudes // J. Geophys. Res. – 2008. – Vol. 97. – P.3725.
6. Программы создания и развития перспективных двигателей. Разработка экологически чистых двигателей в Германии / Экспресс – информация: «Авиационное двигателестроение». – 2010. - №5. – с. 1 – 2.
7. Пивторак Р.М. Экологические ряды авиационных двигателей [Текст] / Р.М. Пивторак, А.А. Пивторак // Вісник НАУ, 2008. – №3. – С. 302-305.
8. Makdonal'd A. J., Bennet R.R., Khinshou J. K., Barns M.U. Rockets with engines on a chemical fuel: influence on the environment // The Aerospace technique. – 2007. – P. 96.
9. Франчук Г.М. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля [Текст] / Г.М. Франчук, А.М. Антонов, С.М. Маджд, Я.В. Загоруй // Вісник НАУ. – 2006. – № 1. – С. 184–190.
10. Франчук Г.М. Екологія, авіація і космос: підручник [Текст] / Г.М. Франчук, В.М. Ісаєнко. – К.: НАУ, 2010. – 456 с.
11. Франчук Г.М., Методика оцінки хімічного забруднення атмосферного повітря на основі аналізу стану атмосферних опадів в зоні аеропорту [Текст] / Г.М. Франчук, Л.С. Кіпніс, С.М. Маджд // Наука і молодь. Приклад. сер.: Міжнар. наук. конф. студ. та молодих учених «Політ-2007». – К.: НАУ, 2007. – С. 258–261.

Referenses

1. Airplane of Airbus A380. Ecological descriptions. Airline of «Emireyts», 2012.
2. Appendix 14 to Convection about International organization of civil aviation. Air ships are Montreal, 2009. – 350 p. – [ICAO. International standards and recommended practice]. – Rezhym of access: http://www.aviadocs.net/icaodocs/Annexes/an14_v1_5ed_cons_ru.pdf.
3. Chirva, L.A. Actual of question of increase ecological safety in air-ports / L.A. Chirva, A.Ye. Gay // IV allukrainian convention of environmentalists with international participation (Ecology-2013). Collection of the scientific articles. Publishing house “Dilo”, 65-67.
4. Nozdrin, V.I. Efficiency of initiative measures on the decline expense of fuel and contamination of environment / V.I. Nozdrin of // Problem of safety of flights. – 2003. – №7. – P. 35-38.
5. Ehhat D.H., Rother F., Wather A. Sources and distribution of Nox in the upper troposphere at nortem mid-latitudes // J. Geophys. Res. – 2008. – Vol. 97. – P.3725.
6. Programs of creation and development perspective engines. Development ecologically of clean engines is in Germany's / An express is information: «Aviation building of engines». – 2010. - №5. – p. 1 – 2.
7. Pivtorak R.M. The Ecological rows of aviation engines / R.M. Pivtorak, A.A. Pivtorak // Announcer NAU, 2008. – №3. – P. 302-305.
8. Makdonal'd A. J., Bennet R.R., Khinshou J. K., Barns M.U. Rockets with engines on a chemical fuel: influence on the environment // The Aerospace technique. – 2007. – P. 96.
9. Franchuk G.M. The Ecological estimation of influence aviation transport processes on quality components of environment / G.M. Franchuk, A.M. Antonov, S.M. Madzhd, Ya.V. Zagoruy // Announcer NAU. – 2006. – № 1. – P. 184–190.
10. Franchuk G.M. Ecology, aviation and space: textbook / G.M. Franchuk, V.M. Isaenko. – K.: NAU, 2010. – 456 p.
11. Franchuk G.M. Method of estimation chemical contamination of atmospheric air on the basis analysis of the state atmospheric fallouts in the area of air-port / G.M. Franchuk, L.S. Kipnis, S.M. Madzhd // Science and young people. Example. sir.: International. sciences. conf. stud. but young scientists «Flight-2007». – K.: NAU, 2007. – P. 258–261.