

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ

Бондар О.І.¹, Машков О.А.¹, Міхеєв В.С.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського 35, 03035, м. Київ

²Державна космічне агентство України
вул. Московська, 8, 01010, м. Київ
yd@nkau.gov.ua, mashkov_oleg_52@ukr.net

Наукові дослідження присвячені формалізації проблем екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. Запропоновано системний підхід до вирішення екологічних проблем в авіації, які пов'язані з факторами несприятливого впливу авіації на навколишнє середовище. Надано характеристику викидів забруднюючих речовин в атмосферу повітряних суден, які здійснюють польоти в Україні. Зроблено формалізацію проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище. Завдання забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки повітряного середовища розглядається як одна з найважливіших задач національної безпеки. У якості проблем побудови сучасної системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища можливо визначити наступні: проблема аналізу екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля; проблема розробки науково-методичного апарату визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів; проблема оцінювання властивостей забруднюючих речовин газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів та їх вплив на стан довкілля; проблема прогнозування стану та оцінювання параметрів навколишнього середовища при впливі газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів та розробка науково-практичних рекомендацій щодо їх застосування. Визначається, що системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки передбачає застосування системи управління екологічною безпекою. Ця система має наступні складові: об'єкт управління, інформаційна підсистема, формувач управління (суб'єкт управління), виконавча підсистема. Для кожної з цих підсистем формалізовані функціональні завдання. Практична значимість запропонованого науково-методичного апарату полягає в тому, з'являється можливість забезпечити функціонування системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища регіону. *Ключові слова:* авіаційна техніка, аеродром, авіаційний транспорт, викиди, емісія двигунів, екологічна безпека, забруднення, системний підхід, шум двигунів.

System approach to evaluation of environmental impact of aviation technology on the environment. Bondar O., Mashkov O., Mikheev V.

Scientific researches are devoted to formalization of problems of environmental impact of aviation technology on the state of the environment. A systematic approach to solving environmental problems in aviation, which is related to the factors of adverse effect of aviation on the environment, is proposed. Emissions of pollutants into the atmosphere of aircraft operating in Ukraine are given. The formalization of the problem of technogenic impact of aviation technology on the environment is made. The task of ensuring the necessary level of environmental safety is considered as one of the most important national security tasks. The problems of building a modern decision support system for managing environmental safety of the air environment are the following: the problem of analysis of the ecological status and the directions of the impact of gas turbine engines of mobile technogenic objects on the environment; the problem of developing a scientific and methodological apparatus for determining the pollutants of gas turbine engines of mobile technogenic objects; the problem of assessing the pollutant properties of gas turbine engines for aircraft and other mobile technogenic objects and their impact on the environment; the problem of forecasting the state and estimation of environmental parameters under the influence of gas turbine engines of mobile technogenic objects and developing scientific and practical recommendations for their application. It is determined that a systematic approach to solving environmental problems with the use of aviation technology involves the application of an environmental safety management system. This system has the following components: control entity, information subsystem, control generator (control entity), executive subsystem. Functional tasks are formalized for each of these subsystems. The practical significance of the proposed scientific and methodological apparatus lies in the fact that it is possible to ensure that the decision support system operates in managing the environmental safety of the region's air environment. *Key words:* aviation engineering, airfield, aviation transport, emissions, engine emissions, environmental safety, pollution, systematic approach, engine noise.

Постановка проблеми

Відомо, що одним з джерел забруднення атмосфери є транспорт. Сьогодні авіація істотно (приблизно в 15 разів) поступається автомобільному транспорту за кількістю що викидаються в повітря

забруднюючих речовин, однак вона щодня впливає на екологію верхньої тропосфери і нижньої стратосфери. На відміну від інших видів транспорту авіація впливає на якість повітря в локальному, регіональному і глобальному відношенні

[1; 2] і. При цьому вплив авіації на атмосферу можна розділити на акустичний та хімічний. Ще у 1972 році в Стокгольмі на Конференції Організації Об'єднаних Націй з проблем навколишнього середовища позиція Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) була викладена наступним чином: «Виконуючи свою роль, ІКАО усвідомлює шкідливий вплив на навколишнє середовище, яке може бути пов'язане з експлуатацією повітряних суден, а також свої обов'язки і обов'язок держав-членів ІКАО досягти максимальної сумісності між безпечним і планомірним розвитком цивільної авіації і якістю навколишнього середовища» [3].

Дотримуючись цієї позиції, в 1983 році був створений САЕР (Committee on Aviation Environmental Protection) – технічний комітет Ради ІКАО щодо захисту навколишнього середовища від впливу авіації. Комітет допомагає Раді формулювати політику і приймати нові регламентуючі документи ІКАО – «Стандарти та Рекомендована Практика» (SARPs), пов'язані з авіаційним шумом, емісіями авіаційних двигунів і більш загальним впливом авіації на навколишнє середовище. В основному ці документи оформлені у вигляді Додатку 16 «Охорона навколишнього середовища» Конвенції про міжнародну цивільну авіацію [3; 4].

Екологічні проблеми в авіації пов'язані з факторами несприятливого впливу авіації на навколишнє середовище. Вирішення цих проблем ґрунтується на існуючій структурі міжнародної системи охорони навколишнього середовища від несприятливого впливу авіації.

Результати проведеного аналізу свідчать, що повітряні судна цивільної та військової авіації негативно впливають на екологічну обстановку аеродромних і приаеродромній території. Результатом впливу авіації на навколишнє середовище є забруднення атмосфери продуктами згоряння авіаційного, автомобільного та інших видів палива, забруднення ґрунтів і підземних вод паливно-мастильними матеріалами (аварійні сливи палива з літаків, протоки під час заправки та ін.), Шумове забруднення і ряд інших чинників.

Викиди від авіації відбуваються через використання палива для реактивних двигунів (гасу) і авіаційного бензину (для поршневих двигунів), які використовуються в якості палива для повітряних суден. При цьому основними забруднюючими речовинами є ті, які виникають в результаті спалювання (CO, CO₂, вуглеводні і оксиди азоту, а також викиди SO₂, які залежать від рівня сірки в паливі). Іншими шкідливими речовинами, які виділяються у відносно невеликих концентраціях, є N₂O і CH₄.

У теперішній час розглядаються питання про техногенному впливі на навколишнє середовище і здоров'я людей авіаційної техніки (літальних апаратів, засобів наземного обслуговування та ін.) аеродромів, дислокованих на території України.

Аналіз публікацій за проблематикою та визначення невирішених раніше частин загальної проблеми

Вирішенню питань забруднення атмосфери двигунами літальних апаратів присвячені роботи Борисова Н.І., Жестовської Ю.М., Іванова В.І., Цунко Н.І.

У працях таких вчених, як Азаров С.І., Аверін Г.В., Белявській Г.О., Бондар О.І., Бугор А.Н., Бусігін Б.С., Ващенко В.М., Ємець М.А., Лялько В.І., Машков О.А., Мокін В.Б., Петрук В.Г., Попов М.О., Рудько Г.І., Соколов Ю.М., Тараріко О.Г., Федоровський О.Д., Фролов В.Ф., Чумаченко С.М., Шапар А.Г., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., і інших сформульовані основні принципи побудови і функціонування екологозалежних систем підтримки прийняття рішень. Однак в даний час ці системи не в повній мірі відповідають вимогам практики.

Проведений аналіз свідчить, що, ступінь розробки тематики досліджень у відповідній предметній галузі знаходиться на недостатньо високому рівні. В першу чергу це пов'язано з відсутністю в більшості регіонів України ефективної технології моніторингу повітряного середовища, орієнтованої лише на побудову мережі різних приладів та датчиків. Інформація від цих датчиків передається особі, що приймає рішення, яка, в рамках інтуїтивно-емпіричного підходу робить суб'єктивне висновок про вплив різних природно-господарських систем на екологічний стан досліджуваної території.

Мета статті – формалізація проблем екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля.

Результати дослідження

Для захисту навколишнього середовища Міжнародною організацією цивільної авіації (ІКАО) введені обмеження на шум літаків і емісію (викиди) шкідливих речовин від авіаційних двигунів. Міжнародні стандарти по екології цивільних літаків існують у вигляді томи I «Авіаційний шум» і томи II «Емісія авіаційних двигунів» Додатки 16 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію.

Відомо, що авіаційний шум – найважливіший фактор негативного ставлення до авіації населення на територіях, що є сусідами з аеропортом. Під його вплив потрапляє порівняно велике число людей, що проживають в околицях, а також працівники аеропорту і пасажери. Авіаційний шум негативно впливає на здоров'я людей (найчастіше це погіршення слуху, стресові стани, проблеми, пов'язані з концентрацією уваги).

Політика ІКАО з проблеми авіаційного шуму передбачає розвиток заходів щодо пом'якшення акустичного забруднення: впровадження технологій скорочення шуму, наземне планування (наприклад, заборони на польоти в нічний час), жорсткість стандартів по шуму для існуючого парку літаків і розробку стандартів для нових моделей повітряних суден (ПС).

В даний час розробляються принципово нові конструкції ПС і концепції двигунів [5]. Виробники літаків прагнуть до того, щоб їх продукція відповідала найвищим вимогам екологічних стандартів. Стандарти і рекомендована практика щодо авіаційного шуму викладені в першому томі Додатки 16 [4]. Тут сформульовані допустимі рівні шуму і методика їх вимірювання для ПС різних категорій (враховується рік випуску, кількість двигунів і їх тип, значення максимальної сертифікованої злітної маси ПС).

Для розвитку технологій зниження шуму Група незалежних експертів, (створена САЕР), сформулювала середньострокові (до 2020 року) і довгострокові (до 2030 року) технологічні параметри. Вони являють собою стандарти, які в 2030 році будуть обов'язковими для повітряних суден. Ці параметри показані у вигляді значень зниження рівнів шуму щодо граничних параметрів номінальної і максимальної злітної маси [6]. Рівень шуму вимірюється в одиницях EPN – ефективно сприймаємий рівень шумів в децибелах. З огляду на, що в 2014 році [4] ці рівні, в залежності від типу ВС, становили 89–106 EPN, стає очевидним, наскільки радикально ІКАО збирається боротися з акустичним забрудненням атмосфери.

Нормованим параметром авіаційного шуму літаків є максимальне значення EPN – ефективного рівня сприйманого шуму в дБ (децибелах), що визначається за вимірюваннями шуму при зльоті, наборі висоти і посадці літака. Норми на авіаційний шум дозвукових реактивних літаків, заявка на сертифікацію яких прийнята до 6 жовтня 1977 року (з деякими винятками), вказані в Главі 2 і більш жорсткі норми – в Главі 3 томи 1 Додатка 16 (якщо заявка на сертифікацію прийнята після 6 жовтня 1977 р.).

Якість повітря в аеропортах. Інтерес до забруднення повітря в аеропортах почав зростати з початку 1970-х років, коли різко активізувалися комерційні перевезення з використанням турбогвинтових літаків. Хімічне забруднення повітря в аеропортах представлено такими авіаційними емісіями як оксиди вуглецю (CO , CO_2), азоту (NO_x), сірки (SO_x), вуглеводнями (НС) і зваженими частинками, що утворюються в результаті роботи двигунів і спалювання авіаційного палива. Джерела емісій, які пов'язані з авіацією, здатні поширюватися і приводити до погіршення якості повітря в прилеглих населених пунктах. Ці емісії представляють потенційний ризик здоров'ю людей і навколишньому середовищу, оскільки можуть викликати збільшення концентрації приземного озону, приводити до випадання кислотних дощів.

Національні та міжнародні програми моніторингу якості повітря постійно вимагають від уповноважених авіаційних і урядових організацій проводити контроль якості повітря поблизу аеропортів. Особливу увагу також приділяється впливу авіації на навколишнє середу, на якість води, створенню відхо-

дів, і впливу на локальну екологію поблизу аеропортів (особливо актуально запобігання витоків палива).

За останні кілька десятиліть були досягнуті значні успіхи в питанні скорочення емісій в зв'язку з підвищенням екологічності авіаційних палив (часткову заміну гасу на скраплений природний газ або біопаливо) і технічними удосконаленнями авіаційних двигунів (збільшенням їх тягової ефективності та зменшення споживання палива).

Методи оцінки емісій авіаційних двигунів в аеропорту, засновані на врахуванні трьох параметрів.

Перший параметр – тривалість у хвилинах, яку ПС витрачає на встановлення одного з режимів злітно-посадкового циклу: при роботі двигуна на режимі малого газу, при Западе на посадку, при наборі висоти та зльоті.

Другий параметр – індекс емісії EI (маса речовини, що виділяється при згорянні одиниці маси палива) і третій – витрата палива.

Сьогодні в цілях сертифікації двигунів повітряних суден здійснюється нормування наступних видів емісії: диму, незгорілих вуглеводнів (НС); окису вуглецю (CO); оксидів азоту (NO_x).

Створений ІКАО банк даних про емісії двигунів (EEDB – ICAO Engine Emission Bank) містить інформацію про значеннях EI для сертифікованих двигунів (в грамах забруднювача на кілограм палива для NO_x , CO та НС), а також про витрату особливих видів палива (в кілограмах в секунду) для різних режимів роботи різних типів двигунів. Крім того, тут вказується число димності – безрозмірний параметр, який обчислюється за 10-бальною шкалою і характеризує емісію диму як «непрозорість» вихлопної струменя.

Спалювання основної частини авіаційного палива відбувається не в приземному шарі поблизу аеропортів, а в більш високих шарах атмосфери. Фахівці вважають, що щорічно зростаюча емісія вуглекислого газу, води і метану двигунами комерційних літаків змінює хімічний і радіаційний баланс атмосфери [7–9], що поряд з емісією сажових сульфатних аерозолів може впливати на клімат.

Особливе значення мають такі компоненти, як двоокис вуглецю і оксиди азоту. Оксиди азоту беруть участь в хімії озону. Його збільшення може призводити до нагрівання верхньої тропосфери та збільшення кількості гідроксильних радикалів, основного атмосферного окислювача. Збільшення кількості гідроксильних радикалів призводить до зменшення часу життя метану CH_4 . Результатом цього може стати охолодження, і навіть скорочення тропосферного озону [7]. Оксиди сірки і сажа призводять до утворення аерозолів. Аерозолі і їх попередники (сажа та сульфати) збільшують хмарність в формі конденсаційних слідів і перистих хмар.

Залежно від стану навколишньої атмосфери ці сліди можуть існувати іноді кілька хвилин, а іноді – годин. Вони розтікають в ширину на кілька кілометрів і нагадують перисті чи високо хмари.

Також вельми значний вплив на радіаційний баланс слід очікувати в результаті викидів частинок сажі – твердотільних продуктів неповного згоряння палива, які грають роль ядер конденсації [10].

У верхній тропосфері сажові аерозолі мають розмір 0,1–0,5 мкм і складаються з агломератів первинних частинок з діаметром 20–40 нм. Їх середня концентрація змінюється в межах від 0,004 до 0,5 см³. Раніше при оцінках кліматичних наслідків емісії сажових аерозолів основна увага приділялася зміні складу атмосфери, обумовленого протіканням гетерогенних хімічних реакцій на поверхні часток саж. Однак помітного впливу емісії цих частинок на газовий склад атмосфери до сих пір не виявлено [11; 12].

У теперішній час вважається, що вплив емісії часток саж на клімат обумовлено формуванням довгоживучих конденсаційних слідів (прямий ефект) і ініціюванням утворення перистих хмар (вторинний ефект) [11]. Радіаційний ефект від таких хмар оцінити вкрай важко.

Особливу увагу серед продуктів спалювання авіаційного палива займають парникові гази, чий емісії можуть вносити вклад в процес глобального потепління. Для їх зменшення у авіакомпаній є, по суті, всього дві можливості.

Перша – збільшення зростання паливної ефективності (тобто питомої витрати палива).

Друга – використання альтернативних палив: синтетичного пального з кам'яного вугілля, природного газу або біомаси. Природне паливо не містить сірки і ароматичні вуглеводні, що значно скорочує емісії летких аерозолів і хмарних ядер конденсації, послаблюючи таким чином вплив на радіаційний баланс.

Крім того, дослідження визначили, що застосування палива, очищеного від сірки, призводить до значного екологічного «оздоровлення» тропосфери з точки зору концентрацій озону, сульфатів і нітратів.

Фахівці попереджають, що повний перехід на біопаливо загрожує поступовим знищенням тропічних лісів і подорожчанням продуктів харчування. Крім того, при його застосуванні в довгостроковій перспективі не доведений ефект зниження викидів CO₂. Проте біопаливо для потреб авіації вже проводиться в США, Великобританії, Німеччині, Франції, Фінляндії (<https://www.aviaport.ru/news/2012/07/27/238185.html>). До 2020 року Китай, який налагодив виробництво палива з пальмового масла, також має намір довести частку біопалива до однієї третини від усього використовуваного авіацією пального [13].

В останні роки в ряді країн, які борються за екологію, відбувається активна заміна традиційного авіаційного гасу на криогенне паливо (водень, зріджений природний газ). При його використанні літак стає більш економічним (витрата палива зменшується), викиди CO₂ в атмосферу знижуються. Авіаційні емісії діоксиду вуглецю складають, за різними оцінками,

від 2 до 2,5% від загальної кількості антропогенних викидів CO₂ в атмосферу. При спалюванні 1 кг авіаційного гасу виділяється 3,16 кг CO₂. Передбачається, що до 2040 року при оптимістичному прогнозі, пов'язаному з поліпшенням технологій паливної ефективності, кількість авіаційних емісій CO₂ може досягти майже півтори тисячі мегатон в рік.

З 2016 року CAEP рекомендував два нові стандарти: щодо емісій діоксиду вуглецю і нелетких зважених часток. Рекомендований стандарт по CO₂, запропоновано для стимулювання більш ефективних технологій спалювання палива при виробництві літаків і аналогічний існуючим стандартам щодо емісій і авіаційному шуму [3; 4].

Стандарти будуть застосовуватися до моделей нового типу дозвукових і турбогвинтових літаків, які будуть вводитися в експлуатацію з 2020 року, а до вже існуючим – з 2023 г. Якщо експлуатовані моделі, які не відповідають вимогам по стандартам CO₂, не зможуть бути модифіковані належним чином до 2028 р., то після цього терміну вони не зможуть використовуватися.

Регулювання емісій буде проводитися за допомогою запропонованої Глобальної системи ринкових заходів. Перевищення квот емісії (за базовий рівень передбачається прийняти емісії 2019–2020 рр.) буде обкладатися значним штрафом, який піде на відновлення навколишнього середовища і компенсаційні заходи.

Такий підхід до квотування емісій не новий, він застосовувався в країнах Євросоюзу з початку 2000-х років [14]. Наприклад, в квітні 2014 року Німеччина виставила штрафів за перевищення емісійних квот на 2,7 млн. євро 61 авіакомпанії з Росії та ін. Країн, 44 з яких базувалися поза європейської території [15]. Нові стандарти щодо емісій CO₂ викладені в новому третьому томі до Додатка 16 «Охорона навколишнього середовища».

Рекомендовані стандарти для нелетких зважених часток (non-volatile particulate matter – nvPM) будуть застосовуватися до двигунів, виготовлених з 1 січня 2020 року. Повний опис процедури сертифікації для вимірювання nvPM, а також обмеження для їх масових концентрацій будуть включені у вигляді окремої глави в другій тому Додатки 16 «Емісія авіаційних двигунів».

В даний час ІКАО нормує емісію незгорілих вуглеводнів (HC), оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x) і диму від турбореактивних і турбовентиляторних двигунів цивільних літаків в зоні аеропортів, а також забороняє навмисний викид палива після зупинки двигуна. Вимоги міжнародного стандарту для дозвукової авіації поширюються по диму на двигуни, виготовлені після 1982 року, по газоподібних речовин – на двигуни з тягою більше 26,7 кН, виготовлені після 1985 р.

ІКАО приступила до розробки штрафних санкцій за емісію авіадвигунів на кілька років пізніше в порівнянні з санкціями за авіаційний шум.

Найближчим часом буде створена система обмежень і заборон на експлуатацію авіаційних двигунів, що перевищують норми на емісію, аналогічна системі по шуму.

Літальні апарати є потужним джерелом забруднення повітряного середовища газоподібними речовинами. У порівнянні з забрудненням, внесеним в навколишнє середовище наземним транспортом, частка від двигунів повітряних суден невисока, проте питомі викиди, наведені одного літального апарата, на порядки вище ніж від двигунів внутрішнього згорання.

Характеристика викидів забруднюючих речовин в атмосферу повітряних суден, які здійснюють польоти в Україні наведена в таблиці.

З початку 2020 року введено обмеження на викиди шкідливих речовини, а до 2050 року планується скоротити викиди вуглекислого газу на 50% в порівнянні з показниками 2005 року. Крім того, Європейська комісія наполягає на тому, щоб з 2020 року в авіаційній галузі використовувалося близько 4% палива, отриманого з біологічних джерел. Сьогодні в якості екологічно чистого палива розглядається водневе паливо, яке при згоранні виділяє воду і незначний обсяг оксидів азоту [16–19].

Формалізація проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище.

Завдання забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки повітряного середовища є однією з найважливіших задач національної безпеки. Техногенна діяльність, зокрема, обумовлює викиди забруднюючих речовин в атмосферу, які на сучасному етапі досягли в ряді регіонів критичних значень. При цьому в останні роки негативний вплив антропогенних чинників на повітряне середовище виявилось порівняним з екологічною кризою і екологічною небезпекою.

Літальні апарати є потужним джерелом забруднення повітряного середовища газоподібними речовинами і в місцях зосередження на аеродромах і стартових майданчиках можна порівняти за потужністю викидів з роботою великих промислових підприємств. У порівнянні з забрудненням, внесеним в навколишнє середовище наземним транспортом, частка від двигунів повітряних суден невисока, проте питомі викиди, наведені одним літальним апаратом, на порядки вище ніж від двигунів внутрішнього згорання.

Моніторинг навколишнього середовища приаеродромної території вимагає значних витрат, тому прогнозування забруднення повітряного середовища двигунами літальних апаратів на основі аналітичних залежностей є актуальним завданням. Крім того, до теперішнього часу не вирішена проблема акустичного впливу повітряних суден на персонал аеродромів та населення приаеродромної території.

Аналіз результатів, отриманих в процесі численних екологічних досліджень повітряного середовища різних регіонів, вказує на необхідність розробки і проведення комплексу заходів щодо підвищення ефективності функціонування системи екологічної безпеки. При цьому особливої уваги потребують завдання зменшення негативного впливу на повітряне середовище антропогенних факторів. Обумовлено це тим, що саме діяльність людини в окремих випадках надає руйнівний вплив на екологічні системи, що при відповідному збігу обставин може створити катастрофічну ситуацію. Недопущення такого розвитку подій вимагає побудови і організації ефективного функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР) щодо екологічної безпеки повітряного середовища регіону. Ця система повинна надавати набір обґрунтованих рекомендацій по системним випереджувальним заходам, спрямованим на недопущення розвитку надзвичайних ситуацій за рахунок дотримання розумного компромісу між економіко-технічними та екологічними аспектами розвитку регіону.

Актуальність вирішення завдання забезпечення належної екологічної безпеки повітряного середовища обумовлена і розмірами територій, схильних до негативного впливу антропогенних факторів. Так, наприклад, циркуляція атмосферного повітря, що забезпечує перенесення хімічних сполук, що надходять від окремих джерел забруднення, призводить до погіршення екологічної ситуації в масштабах цілих регіонів.

Тому перший аспект управління екологічною безпекою повітряного середовища регіону полягає в тому, що завдання екологічної безпеки повітряного середовища повинні вирішуватися комплексно на територіях, межі яких знаходяться на значній відстані від розглянутих аеродромів.

В даний час також розглядаються питання щодо техногенного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей авіаційної техніки (літальних апаратів,

Таблиця 1

Тип повітряного судна	Викиди CO	Викиди CH ₄	Викиди NO _x
Airbus-310	28,8	0,5	23,2
Boing-737(400)	11,8	0,1	8,3
Boing-777	61,4	2,3	53,6
Airbus-320	17,6	0,2	10,8
Douglas-81	6,5	0,2	12,3

засобів наземного обслуговування та ін.) в авіаційних військових частинах, дислокованих на території України. Так, до теперішнього часу не вирішена проблема акустичного впливу повітряних суден на персонал аеродромів та населення приаеродромної території.

Інженерно-екологічна оцінка навколишнього середовища в зоні розташування військового авіаційного містечка передбачає вирішення наступних завдань:

– аналіз джерел забруднення і розмірів техногенного навантаження на навколишнє середовище в районі аеродромів;

– визначення якісного і кількісного складу продуктів емісії авіаційних двигунів в процесі запуску, рулювання, зльоту і посадки; аналіз викидів в атмосферу від авіаремонтних заводів, складів пально-мастильних матеріалів і резервуарів для зберігання палива;

– визначення впливу на забруднення природного середовища допоміжного наземного обладнання та спецавтотранспорту;

– виявлення впливу метеорологічних умов і інтенсивності польотів на забруднення навколишнього середовища.

– встановлення рівнів авіаційних шумів і визначення акустичної обстановки в районі аеродромів.

Таким чином, можна виділити дві проблеми техногенного впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище.

1. Емісія шкідливих продуктів при роботі авіаційних двигунів, аварійні сливи палива з літаків, акустичний вплив на прилеглі території та інші фактори.

Відчутний внесок у забруднення природного середовища вносять об'єкти наземного обслуговування авіації, спеціальний автотранспорт, ремонтні бази, резервуари зберігання авіаційного палива і склади пально-мастильних матеріалів, системи розливу і розподілу пального. Тому дослідження впливу авіаційної техніки на стан приземної атмосфери, гідросфери та ґрунт, а також акустичне забруднення території дуже актуальні.

2. Проблема захисту людей і природного середовища від шкідливого впливу авіаційної техніки є досить складною і повинна вирішуватися шляхом здійснення комплексу заходів з урахуванням технічних, фінансових та організаційних можливостей. Перед місцевими органами влади постає завдання раціональної організації цих територій з урахуванням їх екологічного стану.

Методологічною базою для створення системи екологічного управління при застосуванні авіаційної техніки є нормативні дані для цивільної авіації (Конвенція про міжнародну цивільну авіацію ІКАО), державні стандарти тощо.

У якості проблем побудови сучасної системи підтримки прийняття рішень при управлінні еколо-

гічною безпекою повітряного середовища можливо визначити наступні.

1. Проблема аналізу екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля.

Вирішення цієї проблеми передбачає виконання наступних заходів:

– визначення загроз впливу газотурбінних двигунів на стан навколишнього природного середовища;

– врахування властивостей газотурбінних двигунів авіаційної техніки для оцінювання стану довкілля;

– обґрунтування та визначення напрямків розвитку газотурбінних авіаційних двигунів;

2. Проблема розробки науково-методичного апарату визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів.

Цю проблему може бути вирішено наступними заходами:

– визначення особливості впливу забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля;

– створення моделі взаємодії та визначення властивостей екологічних режимів роботи двигунів мобільних техногенних об'єктів на навколишнє природне середовище;

– удосконалення моделі впливу на стан довкілля забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів.

3. Проблема оцінювання властивостей забруднюючих речовин газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів та їх вплив на стан довкілля.

Вирішення цієї проблеми передбачає виконання наступних заходів:

– розробка науково-практичного підходу до визначення закономірностей впливу газотурбінних двигунів літаків та інших мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля;

– розробка науково-методичного апарату визначення індексу забруднення довкілля та оцінювання ризиків впливу газотурбінних двигунів на навколишнє середовище;

– розрахунки екологічних ризиків для оцінювання впливу забруднюючих речовин газотурбінних двигунів на стан довкілля.

4. Проблема прогнозування стану та оцінювання параметрів навколишнього середовища при впливі газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів та розробка науково-практичних рекомендацій щодо їх застосування.

Цю проблему може бути вирішено наступними заходами:

– синтез моделі розповсюдження забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів;

– прогнозування екологічних впливів на стан довкілля газотурбінних двигунів літаків та мобільних техногенних об'єктів;

– розробка науково-практичних рекомендацій щодо застосування екологічних режимів роботи газотурбінних двигунів.

Системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки

Складність і відкритість системи забезпечення екологічної безпеки призводить до того, що в окремих випадках її складові функціонують недостатньо ефективно.

Вихід з цього становища пропонується знайти шляхом розробки науково-методичного забезпечення системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою. Зазначений апарат повинен враховувати особливості моделювання процесів управління еколого-економічними системами, а також ґрунтуватися на результатах порівняльного аналізу даних про стан існуючих екосистем і систем управління екологічною безпекою (рис.1).

Важливо відзначити, що ефективне функціонування діючих екосистем в ряді випадків виявляється скрутним. При цьому моніторинг і управління екологічною безпекою не в повній мірі відповідають вимогам практики.

Тому сьогодні в якості шляхів розв'язання проблем, що виникають при впливі авіаційного транспорту на навколишнє середовище, доцільне визначити наступні:

- використання присадок до палива;
- зменшення числа працюючих двигунів при рулюванні;
- модернізація двигунів;
- розробка альтернативних видів палива;
- адміністративні заходи.

Системний підхід щодо вирішення екологічних проблем при використанні авіаційної техніки передбачає застосування системи управління екологічною безпекою. Ця система визначає наступні складові: об'єкт управління, інформаційна підсистема, формувач управління (суб'єкт управління), виконавча підсистема (рис.2).

А. Об'єкт екологічного управління.

У якості об'єкта управління розглядається екологічний стан авіаційної техніки та приаеродромної території.

Б. Інформаційна підсистема в системі екологічного управління.

Інформаційна підсистема в системі екологічного управління повинна виконувати наступні завдання.

Аналіз джерел забруднення та розмірів техногенного навантаження на навколишнє середовище в районі авіаційних частин.

Визначення якісного і кількісного складу продуктів емісії авіаційних двигунів в процесі запуску, рулювання, зльоту і посадки; аналіз викидів в атмосферу від авіаремонтних заводів, складів пально-мастильних матеріалів і резервуарів для зберігання палива.

Отримання аналітичних залежностей для визначення категорій джерел викидів і оцінки ступеня

впливу двигунів повітряних суден на забруднення атмосферного повітря.

Визначення впливу на забруднення природного середовища допоміжного наземного обладнання та спецавтотранспорту.

Виявлення впливу метеорологічних умов і інтенсивності польотів на забруднення навколишнього середовища;

Встановлення рівнів авіаційних шумів і оцінка акустичної обстановки в районі аеродромів.

Встановлення якісного складу і кількісних співвідношень продуктів вихлопів авіаційних двигунів, розрахунок значення емісії забруднюючих речовин від літальних апаратів в атмосферу авіамістечка.

Розробка методики розрахунку щодо визначення рівня забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна.

Розрахунок полів концентрацій шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери при аеродромно-технічному забезпеченні польотів.

Визначення концентрацій шкідливих речовин в робочій зоні на технічній позиції обслуговування повітряних суден при роботі силових установок засобів аеродромно-технічного забезпечення і повітряних суден.

Розробка методик розрахунку концентрацій забруднюючих речовин над приаеродромної території в циклі «зліт-посадка» повітряних суден і визначення категорії джерел викидів.

Облік взаємного впливу джерел забруднюючих речовин, що дозволяє з високою точністю визначати поля концентрацій шкідливих речовин.

Розробка науково-методичного забезпечення локальної системи екологічного моніторингу атмосфери територіально-виробничого комплексу.

Побудова моделі ідентифікації промислового джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу з урахуванням метеорологічних даних, що відрізняється застосуванням інформації про комплекс метеорологічних характеристик при визначенні умов розповсюдження і трансформації потоку забруднюючих речовин.

В. Формувач управління в системі екологічного управління.

Формувач управління в системі екологічного управління призначений для виконання наступних завдань.

Проведення комплексного аналізу впливу авіації та об'єктів її обслуговування на навколишнє середовище. Аналіз сучасних напрямків розвитку систем екологічної безпеки повітряного середовища регіону.

Побудова моделі системи підтримки прийняття рішень щодо забезпечення екологічної безпеки природно-господарських систем, що відрізняється адаптивністю управління до поточних змін еколого-економічних характеристик досліджуваних систем.

Розробка науково-методичного апарату підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону в умовах нечіткої вихідної інформації, що відрізняється адаптивністю цілей

і стратегій поведінки складових природно-господарської системи, що забезпечують необхідний рівень безпеки повітряного середовища регіону. Відмінною особливістю такого підходу є застосування апарату штучних нейронних мереж при налаштуванні параметрів системи в умовах, що змінюються еколого-економічних і метеорологічних умовах.

Проведення комплексних досліджень якості приземної атмосфери, водних ресурсів, ґрунтового покриву, акустичної обстановки в районі конкретної авіаційної частини військово-повітряних сил. Екологічне оцінювання впливу авіаційної частини на навколишнє середовище і здоров'я людини. Встановлення інтенсивності впливу на навколишнє середовище різних джерел техногенного навантаження в авіамістечку. Проведення класифікації джерел забруднення навколишнього середовища в авіаційній частині.

Прогноз просторового формування рівнів забруднення приземного шару атмосфери в зоні обслуговування повітряного судна.

Моделювання і прогнозування просторового забруднення навколишнього повітряного середовища приаеродромної території газоподібними викидами від двигунів повітряного транспорту, розробка та обґрунту-

вання математичної моделі просторового формування забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна, створення методики розрахунку викидів забруднюючих речовин від засобів наземного забезпечення польотів.

Встановлення нових емпіричних залежностей для розрахунку забруднення повітря від працюючих двигунів літаків і засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів з урахуванням їх кількості, місця розташування і погодно-кліматичних умов.

Розробка методики прогнозування забруднення повітряного середовища від двигунів повітряних суден.

Розробка математичних моделей прогнозування забруднення повітряного середовища аеродромів, з урахуванням чинника розсіювання шкідливих речовин, що викидаються двигунами повітряних суден з метою визначення категорії джерел викидів і оцінки ступеня впливу двигунів повітряних суден на забруднення атмосферного повітря.

Формування емпіричних залежностей, що характеризують динаміку поширення шкідливих газоподібних речовин під час роботи засобів наземного забезпечення польотів і синтез алгоритму і методики розрахунку поля концентрації шкідливих речовин на майданчику обслуговування повітряного судна.

Отримання аналітичних залежностей для розрахунку необхідної витрати повітря в режимі «зліт-посадка», що знижує концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери до гранично допустимого рівня.

Розробка математичної моделі прогнозування рівнів забруднення навколишнього середовища від двигунів літальних апаратів, що відрізняється від застосовуваних використанням при розрахунку фактору розсіювання шкідливих речовин.

Розробка математичної моделі забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна під час аеродромно-технічного забезпечення польотів, що враховує дифузійне розсіювання продуктів згоряння авіаційного та автомобільного палива і нес-тационарність джерела.

Отримання інженерної методики для розрахунку емісії продуктів згоряння палива до різних режимів роботи засобів аеродромно-технічного забезпечення під час забезпечення польотів і кліматичних умов.

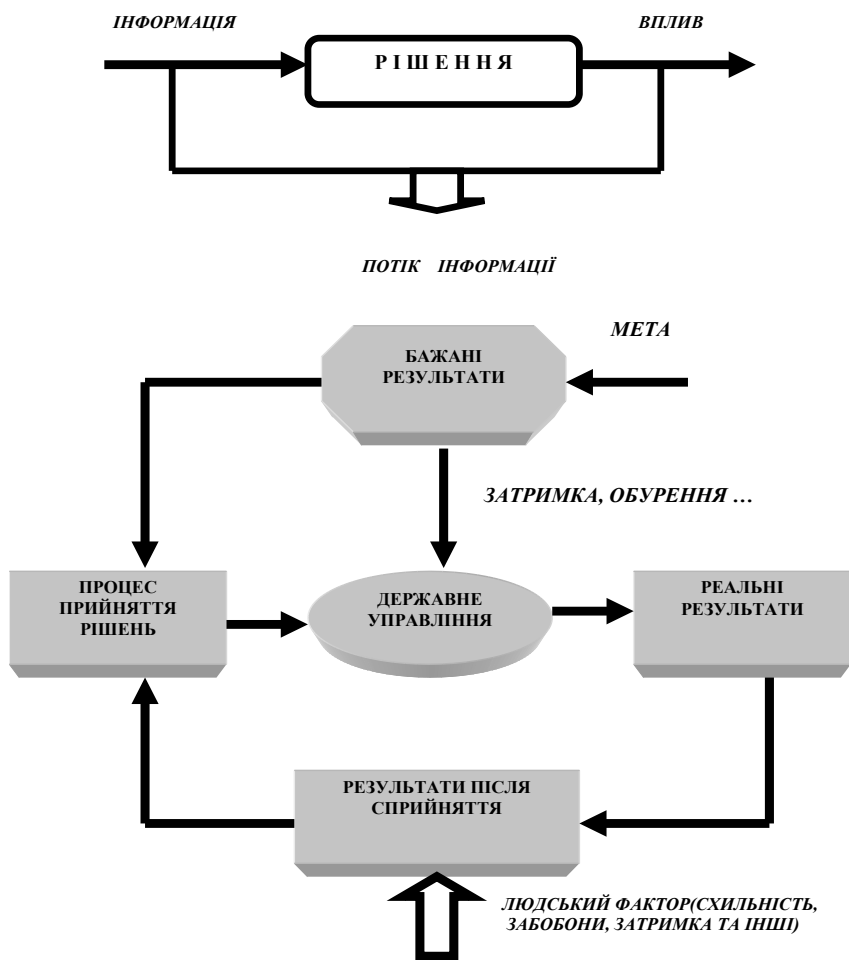


Рис. 1. Структура системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою

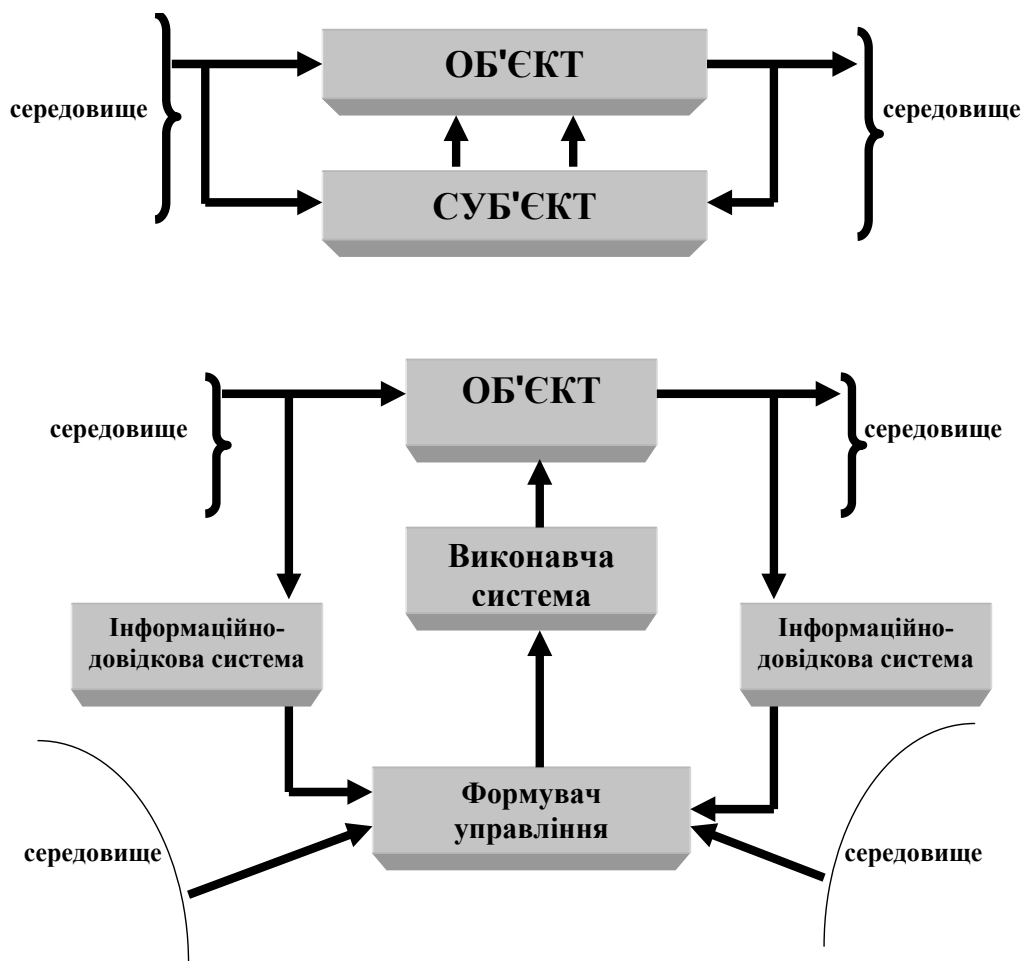


Рис. 2. Структура системи управління екологічної безпекою

Розробка математичної моделі комплексної оцінки забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції обслуговування повітряного судна.

Розробка залежності для розрахунку викидів шкідливих газоподібних речовин в атмосферу при експлуатації засобів наземного забезпечення польотів.

Розробка алгоритму розрахунку поля концентрації шкідливих речовин на майданчику обслуговування повітряного судна.

Г. Виконавча підсистема в системі екологічного управління.

Виконавча підсистема в системі екологічного управління призначена для виконання наступних завдань.

Постановка і проведення експерименту по апробації та аналізу отриманих наукових результатів.

Розробка заходів щодо зниження шкідливого впливу газоподібних викидів і генерується шуму від літальних апаратів на навколишнє середовище приаеродромної території.

Формування пропозицій щодо здійснення екологічного моніторингу навколишнього повітряного середовища приаеродромної території.

Формування пропозицій заходи щодо зниження шкідливого впливу шумів літальних апаратів на

навколишнє природне середовище приаеродромної території; а також рекомендацій щодо дотримання мінімальних відстаней від зони посадки і зльоту повітряних суден до будівель поза територією аеродромів, рекомендацій щодо застосування шумозахисних конструкцій будівель і споруд.

Розробка методики експериментальних досліджень рівня забруднення навколишнього середовища, що полягає в удосконаленні схеми розміщення постів спостережень і контролю, а також додаткових постів на злітній смузі і приаеродромної території.

Пропозиція заходів по зниженню шкідливого впливу шумів повітряних суден на навколишнє природне середовище приаеродромної території, які рекомендують дотримання мінімальних відстаней від зони посадки і зльоту повітряних суден до будівель поза територією аеродромів, а також застосування шумозахисних конструкцій будівель і споруд.

Розробка комплексу заходів щодо зниження емісії шкідливих речовин від засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів в процесі обслуговування повітряного судна та щодо забезпечення повітряного судна чистим повітрям, що подається в салон (кабіну) аеродромним кондиціонером.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Незважаючи на те, що авіація, в порівнянні з іншими, є відносно «чистим» видом транспорту, її вплив на клімат і екологію може з часом стати відчутним через постійно зростаючого повітряного трафіку, що приводить до зростання забруднення в верхніх шарах тропосфери. Хоча в даний час оцінки такого впливу є досить невизначеними, Міжнародна організація цивільної авіації вживає заходів для скорочення негативного впливу авіації на навколишнє середовище. Для цього розробляються нові стандарти, що посилюють вимоги до експлуатованих літаків з авіаційного шуму та емісій, а також розширюється список авіаційних емісій, за якими проводиться сертифікація двигунів повітряних суден. В якості основного інструменту регулювання негативного впливу авіації на навколишнє середовище Комітет ІКАО пропонує механізм Глобальних ринкових заходів. Тому необхідно впровадження в авіаційній галузі нових технологій, які сприятимуть зниженню екологічного навантаження повітряного транспорту на навколишнє середовище, очевидна.

Теоретична значимість нових технологій полягає в розробці взаємопов'язаної сукупності моделей і методик підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону при використанні авіаційної техніки з урахуванням метеорологічних даних.

Відповідний науково-методичний апарат розвиває елементи геоекології і базується на наукових теоріях математики, дослідження операцій, географії, фізики атмосфери в частині оцінки та мінімізації негативного впливу техногенної діяльності на навколишнє середовище.

Практична значимість нових технологій полягає в тому, що вони дозволяють на основі розробленого науково-методичного апарату забезпечити функціонування системи підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою повітряного середовища регіону. Результатом зазначеного функціонування системи підтримки прийняття рішень є комплекс достовірних і регулярно поновлювальних даних про екологічну обстановку; оперативна підтримка прийняття управлінських рішень в області екології та природокористування; зіставлення і системний аналіз інформації, структурованої за природно-ресурсної, соціально-економічної, метеорологічної та екологічної складових.

Результати запропонованого підходу також доцільно використовувати в агроекономічній і хіміко-аналітичній діяльності, в системі контролю за використанням органічних добрив внаслідок негативного впливу авіаційної техніки. На основі даних екологічного моніторингу здійснюється прийняття управлінських рішень щодо попередження прояву антропогенного чинника екологічної небезпеки.

Література

1. Присяжний В.І., Міхеев В.С. Аналіз екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. ДЕА, 2019. С. 5–10.
2. Машков О.А., Жукаускас С.В., Нігородова С.А., Міхеев В.С. Розвиток теорії функціональної стійкості екологічних систем, як стійкості функціонала екологічної безпеки / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. ДЕА, 2019, С. 62–76.
3. Охрана окружающей среды. Том 2. Эмиссия авиационных двигателей: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 5, июль 2014 г.
4. Охрана окружающей среды. Том 1. Авиационный шум: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 3, июль 2008 г.
5. Халецкий Ю.Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации // Двигатели. 2014. No 2 (92). С. 8–11.
6. События в гражданской авиации и окружающая среда: Рабочий документ 38-й сессии Ассамблеи ИКАО – www.icao.int.
7. Lee D., Fahey D.W., Forster P.M. et al. Aviation and global climate change in 21st century // *Atm. Environ.* 2009. Vol. 43. P. 3520–3537.
8. Olsen S.C., Brasseur G.P., Wuebbles D.J., Barret S.R.H. et al. Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane // *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P. 6004–6009. doi:10.1002/2013GL057660.
9. On Board. A sustainable future. Environmental Report. ICAO, 2016.
10. Старик А.М., Фаворский А.Н. Авиация и атмосферные процессы // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 2015. Т. 20, No 1 (40). С. 1–20.
11. Поповичева О.Б., Старик А.М. Авиационные сажевые аэрозоли: физико-химические свойства и последствия эмиссии в атмосферу // Известия РАН. ФАО. 2007. Т. 43, No 2. С. 147–164.
12. Поповичева О.Б., Персианцева Н.М., Зубарева Н.А., Шония Н.К., Старик А.М., Савельев А.М. Сажевые аэрозоли в верхней тропосфере: свойства и последствия эмиссии авиации. НИИЯФ МГУ, 2005, 83 с.
13. (http://www.bioethanol.ru/bioethanol/news/kitajj_nachinaet_ispolzovat_bioplivo_v_grazhdanskojj_aviatsii/).
14. Liu X., Penner J.E., Wang M. Influence of anthropogenic and black carbon on upper tropospheric clouds in the NCAR CAM3 model coupled to the IMPACT global aerosol model // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. D03204. doi:10.1029/2009JD010492.
15. EU states tread warily on naming and shaming aircraft operators that have failed to comply with EU ETS rules. <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2021>
16. Бондар О.І., Новосельська Л.П., Івашенко Т.Г., Основи біологічної безпеки (екологічна складова). – Херсон: ФОП Гринь Д.С., 2014. 324 с.
17. Андреев В.А., Солобозов В. Топливо для летательных аппаратов XXI века // Наука и жизнь. 2001. No 3. С. 23–25.
18. ICAO Aircraft engine emission Databank. November 2016. <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
19. Экологические проблемы в авиации и пути их решения / В.А. Миягашева, Д.Р. Иншаков, А.В. Пономарев, О.Г. Бойко / Актуальные проблемы авиации и космонавтики. М. 2016 Т. 1. С. 808–810.