

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
ТА УПРАВЛІННЯ**

МІХЕСЬВ ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 681.513:519

**ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ МОБІЛЬНИХ
ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ НА ПРИКЛАДІ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

Спеціальність 21.06.01 «екологічна безпека»

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертація є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі екологічного моніторингу та аерокосмічних технологій Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України

Науковий керівник:

Присяжний Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник Національного центру управління та випробувань космічних засобів.

Офіційні опоненти:

Треснюк Василь Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України.

Фролов Валерій Федорович – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри екології Національного авіаційного університету МОН України

Захист відбудеться « 24 » грудня 2020 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 033035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 033035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2 та на сайті www.dea.edu.ua.

Автореферат розісланий « 24 » листопада 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Т.Г. Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Авіаційна промисловість розвивається стрімко і невпинно, вбираючи всі останні досягнення науково-технічного прогресу, і разом з нею відповідно до зростаючих потреб економіки, бізнесу і населення розвивається міжнародний ринок авіаційних послуг. Дослідження режимів роботи газотурбінних двигунів (ГТД) на початкових етапах дає можливість визначити не тільки ефективні режими роботи силової установки, а й застосування їх з мінімальним впливом на навколишнє середовище щодо максимальної тяги літальних апаратів (ЛА). Тим не менш, у даний час, питання застосування ГТД ЛА і режимів його роботи на початкових етапах за умови мінімальних викидів в навколишнє середовище шкідливих речовин не досить приділено уваги в літературі або є обмеження в отриманні знання. Результати проведеного аналізу свідчать, що повітряні судна цивільної та військової авіації негативно впливають на екологічну обстановку аеродромних і приаеродромних територій (ПРАТ). 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.), Викиди від авіації відбуваються через використання палива для реактивних двигунів (гасу) і авіаційного бензину (для поршневого двигунів), які використовуються в якості палива для повітряних суден. При цьому основними забруднюючими речовинами є ті, які виникають в результаті спалювання (СО, СО₂, 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 техногенний вплив на навколишнє середовище і здоров'я людей авіаційної техніки (літальних апаратів, засобів наземного обслуговування та ін.) аеродромів, дислокованих на території України.

У працях таких вчених, як Азаров С.І., Аверін Г.В., Белявський Г.О., Бондар О.І., Бугор А.Н., Бусигін Б.С., Ващенко В.М., Ємець М.А., Лялько В.І., Мальований М.С., Машков О.А., Мокін В.Б., Петрук В.Г., Рудько Г.І., Соколов Ю.М., Тараріко О.Г., Треснюк В.Н., Фролов В.Ф., Чумаченко С.М., Шапар А.Г., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., і інших сформульовані основні принципи побудови і функціонування систем екологічного моніторингу. Вирішенню питань забруднення атмосфери двигунами літальних апаратів присвячені роботи таких вчених, як Авдєєв Б.В., Аксенов І.Я., Арутюнова А.К., Афанасьєв Ю.А., Безугла Е.Ю., Болбас М.М., Борисов Н.І., Голубєв І.Р., Голубєв Н.В., Гончар Л.Л., Дзюбенко О.Л., Єсенков В.Г., Жегалін О.І., Запорожець О.І., Ісаєнко В.М., Квитка В.Є., Колесов А.В., Кулік М.С., Лупачев П.Д., Малахов Л.П., Маслов В.А., Мельников Б.М., Новиков Ю.В., Ноздрін В.І., Павлов Е.І., Панін В.В., Спиридонов Е.Г., Терещенко Ю.М., Фомин С.А., Франчук Г.М. та інші. Однак в даний час ці системи не в повній мірі відповідають вимогам практики.

Проведений аналіз свідчить, що, ступінь розроблення 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'єктивний висновок про вплив різних природно-господарських систем на екологічний стан досліджуваної території. Саме тому, актуальним є наукове завдання, яке полягає в оцінюванні екологічного впливу мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля на прикладі газотурбінних двигунів та аналізуванні екологічних ризиків для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертаційної роботи та отримані результати відповідають тематиці наукових досліджень у відповідності з цілями і завданнями, що поставлені у Стратегії розвитку авіаційної промисловості на період до 2020 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. №1656-р), Державній цільовій програмі розвитку аеропортів на період до 2023 року, (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 р. № 126). Виконання наукових досліджень проводились у відповідності до плану наукової роботи та науково-технічної діяльності Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління. Дисертаційні дослідження виконані у науково-дослідній роботі: «Розробка алгоритмів регулювання витрат палива» (номер держреєстрації 0102U003263), яка виконувалася у Харківському аерокосмічному університеті імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», в якій автор приймав участь як виконавець. Наведені результати стосуються розвитку нових науково-обґрунтованих рекомендацій щодо побудови алгоритмів регулювання палива в літальних апаратах при впорскуванні палива в ГТД, що дозволяє розширити можливості експлуатаційних характеристик повітряних суден та зменшити тиск на навколишнє середовище за умови оцінювання стану та вибору режимів роботи силових установок. Також робота виконувалась у рамках проведення держбюджетних науково-дослідних робіт, що виконувалися у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління: «Дослідження антропогенних джерел електромагнітного випромінювання та їх впливу на екосистеми» (0118U006675); «Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища» (0118U005460); «Розробка нормативно-методичного документа – рубрикатора завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГС» (0118U005461); «Розробка проекту автоматизованої системи моніторингу довкілля Київської області» (0117U007076).

Ідея дисертаційної роботи полягає в розкритті особливостей удосконалення системи управління екологічною безпекою при оцінюванні екологічного впливу мобільних техногенних об'єктів на стан приаеродромних територій на прикладі газотурбінних двигунів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є розроблення методів і алгоритмів оброблення даних в інформаційній системі моніторингу забруднення навколишнього середовища в районах аеродромів продуктами згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА на основі вербально-числового аналізу ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

Поставлена мета дисертаційного дослідження досягається вирішенням наступних наукових завдань:

- проаналізувати стан екологічної безпеки аеродромів та визначити основні продукти згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА, що впливають на стан довкілля;
- дослідити сучасні режими роботи та перспективні напрямки удосконалення ГТД ЛА для зменшення викидів продуктів згоряння авіаційного палива;
- розробити науково-методичний апарат оцінювання забруднюючих речовин і просторового розподілу їх концентрації в приземному шарі повітря в умовах атмосферного перенесення продуктів згоряння від ГТД повітряних суден;
- експериментально дослідити та оцінити рівень забруднення атмосфери продуктами згоряння авіаційного палива на території аеродромів;

– розробити науково-практичні рекомендації щодо використання природоохоронних заходів і пропозиції спрямовані на підвищення якості екологічного моніторингу забруднення атмосфери на території аеродрому.

Об’єкт дослідження – процес викидів продуктів згоряння в ГТД повітряних суден.

Предмет дослідження – моделі та методи оцінювання викидів продуктів згоряння від ГТД повітряних суден.

Методи дослідження. Проведені теоретичні дослідження базуються на сучасних теоріях: системний підхід з аналітичними методами дослідження; теорії автоматичного керування, оптимального управління та прийняття оптимальних рішень. На етапі проведення експериментальних досліджень використовувались методи: експертних оцінок, статистичного оброблення даних та математичного модулювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розкритті особливостей та закономірностей розроблення методів і алгоритмів оброблення даних в інформаційній системі моніторингу забруднення навколишнього середовища в районах аеродромів продуктами згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА на основі вербально-числового аналізу ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень. При цьому:

Вперше:

– запропоновано алгоритм побудови інтегрального екологічного оцінювання стану навколишнього середовища ПРАТ, який відрізняється тим, що в ньому екологічна оцінка є середньозваженою геометричною величиною і може застосовуватися для вербально-числового аналізування екологічного ризику та враховує вплив газотурбінних двигунів літальних апаратів;

– отримано аналітичну модель, яка характеризує закономірності впливу на стан довкілля в залежності від режимів роботи авіаційних ГТД на основі розрахунку викидів продуктів горіння авіаційного палива, що надає можливість проведення екологічного оцінювання для визначення рівня забруднення навколишнього середовища на ПРАТ;

– удосконалено науково-методичний апарат зниження викидів токсичних речовин шляхом незначної модифікації існуючих камер згоряння та їх перебудови;

– отримав подальший розвиток метод оцінювання стану аеродромних комплексів при забрудненні продуктами горіння авіаційного палива від ГТД повітряних суден на території аеродромів, відмінною рисою, якого є можливість застосування інформаційної підсистеми моніторингу ПРАТ для подальшого аналізу прогнозування екологічних ризиків в системі управління екологічною безпекою ПРАТ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що в роботі запропоновано методи, моделі, алгоритми, що дозволяють оцінювати стан навколишнього середовища та аналізувати дані викидів продуктів горіння авіаційного палива від ГТД повітряних суден, що дає можливість визначитися з ефективним режимом застосування силових установок ЛА. Запропонований науково-методичний апарат дозволяє розрахувати та визначитися з природоохоронними заходами, що може позитивно впливати на стан довкілля в районі аеродрому для забезпечення екологічної безпеки. Також розроблений науково-методичний апарат може бути застосовано при проведенні екологічного оцінювання для визначення рівня забруднення навколишнього середовища на території аеродрому, що є підґрунтям для здійснення прогностичного аналізу та визначення рівня екологічних ризиків.

Впровадження отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи впроваджені у Національному центрі управління та випробувань космічних засобів (акт від 04.12.2018 р.), Льотній академії Національного авіаційного університету, м. Кропивницький

(акт від 22.01.2019 р.), Науково-виробничій впроваджувальній фірмі «Геотехнологія», м. Київ (акт від 20.12. 2018 р.), а також у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Міністерства екології природних ресурсів України, м. Київ (акт від 26.12. 2018 р.).

Особистий внесок здобувача. Головні результати теоретичних та експериментальних досліджень, представлених у дисертаційній роботі, наведені у наукових працях, поданих у списку робіт [1–27], з них [12–16] одноосібно. З наукових праць, опублікованих у співавторстві використано лише ті ідеї і положення, що є результатом особистого дослідження. Особисто автором у роботах, опублікованих за співавторства було: проаналізовано стан екологічної безпеки аеродромів та визначено основні продукти згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА, що впливають на стан довкілля [4, 7, 24, 25]; досліджено сучасні режими роботи та перспективні напрямки удосконалення ГТД ЛА для зменшення викидів продуктів згоряння авіаційного палива [1–3, 6]; розроблено науково-методичний апарат оцінювання забруднюючих речовин і просторового розподілу їх концентрації в приземному шарі повітря в умовах атмосферного перенесення продуктів згоряння від ГТД повітряних суден [11, 17, 19, 20, 22, 26]; експериментально досліджено та оцінено рівень забруднення атмосфери продуктами згоряння авіаційного палива на території аеродромів [5, 10]; розроблено науково-практичні рекомендації щодо використання природоохоронних заходів і пропозиції спрямовані на підвищення якості екологічного моніторингу забруднення атмосфери на території аеродрому [8, 9, 18, 21, 23, 27].

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 15 наукових конференціях та семінарах: Міжнародній науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ 2004, ІКТМ 2005, Х. НАКУ «ХАІ». – 2004, 2005 рр; Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», (ХНТУ), Залізний Порт Херсонська обл., 2016–2019 рр.; III Міжнародній науково-практичній конференції «Стандартизація, сертифікація, метрологія та менеджмент»: тези доповідей, К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017р.; Круглому столі «Екологічні проблеми військового сектору України та шляхи їх вирішення в умовах Євроатлантичної інтеграції» в Інформаційно-просвітницькому Орхуському центрі ДЕА “Системне вирішення проблем екобезпеки Збройних Сил у розрізі євроатлантичної інтеграції”, м. Київ, 22.02.2018 р., X Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатизації”, м. Київ, 12-13 квітня 2018 р., Державний університет телекомунікацій; Науково-технічній конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» м. Київ, ДЕА, 24-25 квітня 2018 р.; II Міжнародній науково-практичній конференції «Інфраструктура якості і: перспективи та тенденції розвитку», 6 червня 2018, м Київ, (ДП “Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості”); Науково-практичному семінарі «Сучасні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу», м. Київ, ДЕА, 27 листопада 2017 р.; XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки», Кременчук, 4–7 жовтня 2018р.; Науково-практичному семінарі «моніторинг еколого-небезпечних явищ та процесів», 9 квітня 2019, м. Київ, ДЕА; 3 Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», Державний університет телекомунікацій МОН України, 11–12 квітня 2019 р.; Науково-технічної конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» м. Київ, ДЕА, 24–25 квітня 2019 р.; II Всеукраїнській науковій конференції «Актуальні питання техногенної безпеки України», Миколаїв, 18–19 вересня

2020 р., а також на постійно діючому науковому семінарі Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за період 2015–2020 рр.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 27 наукових праць. Основні наукові положення викладено в 12 наукових статтях [1–12], які опубліковані у спеціалізованих фахових виданнях. За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 16 тез доповідей [13–27].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 278 сторінок, у тому числі: 175 сторінок друкованого тексту (145 сторінок основного тексту, 30 окремих сторінок з рисунками і таблицями), анотація на 18 сторінках, список використаних джерел на 14 сторінках (144 найменувань), додатки на 57 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** висвітлено актуальність обраної теми, поставлено наукове завдання, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами наукових досліджень. Визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету і поставлено часткові наукові завдання та визначено методи їх розв'язання. Сформульовано наукову новизну, практичну значущість отриманих результатів та наведено відомості про публікації й апробації результатів дослідження.

Перший розділ присвячений аналізу екологічного стану та напрямків врахування впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля.

Особливу увагу приділено визначенню загроз впливу газотурбінних двигунів на стан навколишнього природного середовища в районі аеродрому. Надано аналіз властивостей газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів щодо оцінювання стану довкілля, а також властивостей токсичних речовин під час викидів відпрацьованого авіаційного палива. Визначається, що на сьогоднішній основним джерелом забруднення атмосфери повітря в районі аеропортів є повітряно-реактивні двигуни літальних апаратів. Визначено основні тенденції розвитку апаратної частини систем запуску газотурбінних двигунів повітряних суден. Перехід від гідравлічних і пневматичних інтегрованих систем, що приводяться від ротора двигуна за допомогою інтелектуальних диференційованих систем, побудованих на базі електропривідних агрегатів з високою питомою потужністю, є ефективним в рамках таких програм як «більш електричний літак» («more electric aircraft», Safran group), «Ultra efficient engine technology» («UEET», NASA) і інших.

Обґрунтовано, що серед широкого спектру забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу аеродрому авіаційними двигунами повітряних суден, найбільш інтенсивно надходять продукти неповного згоряння палива, які надають найбільш несприятливий вплив на навколишнє природне середовище в районі аеродрому. Пил, що утворюється на території аеродрому від газотурбінних двигунів під час проведення технологічних процесів підготовки ЛА до польотів, поряд з продуктами згоряння, робить негативний вплив на прилеглі урбанізовані території, в тому числі і населений пункт.

Формалізація вирішення завдання удосконалення системи управління екологічною безпекою ПРАТ зроблено у вигляді композицій з наступних кортежів:

$$\begin{aligned} & \{ X, T, F, S, E \} \rightarrow \{ A, G, N(G_1), N(G_2) \} \rightarrow \\ & \rightarrow \{ C, Z, A, Q, U \} \rightarrow \{ P, F, \gamma, \rho, V, M_{\text{пр}}, M_c, Y_{\text{пр}}, Y_c, Y_{\text{прог}} \} \rightarrow \{ A^* \}, \end{aligned}$$

де вихідні дані: $X = \{x\}$ – модель зовнішнього середовища; $T = \{t\}$ – технології прийняття рішень при управлінні ДПЛА; $F = \{F1\}$ – множина факторів, що впливають на прийняття рішення; $S = \{s\}$ – ситуація, в якій проводяться екологічні спостереження за допомогою

інформаційних систем; $E\{e\}$ – умови наявності апаратури спостереження на ПРАТ; Λ – коефіцієнт випарювання; G – витрати палива (1 – на землі, 2 – у повітрі); N – потужність, що розвивається пусковим пристроєм; C – питома теплоємність; Z – число димності; A – коефіцієнт тепловіддачі при випаровуванні; Q – об'єм витрат повітря; U – режими роботи двигуна; P – повний тиск в суміші; F – прихована теплота випаровування; γ – в'язкість рідини; ρ – щільність рідини; V – коефіцієнт випаровування при вимушеній конвекції; $M_{пр}$ – молекулярна вага парів при заданій температурі; M_c – повний тиск у суміші; $Y_{пр}$ – емісія CO; Y_c – емісія HC; $Y_{прог}$ – емісія NO_x; ; A^* – управлінські рішення.

Визначено, що незважаючи на велику кількість розроблених моделей для різних джерел, на сьогоднішній день відсутня універсальна загальноприйнята методика оцінювання забруднення приземного шару атмосфери на території аеродрому. Тому, для дослідження процесу забруднення на території аеродрому авіаційними двигунами і уточнення метеорологічних умов, сприятливих переносу забруднюючих речовин, доцільно проведення експериментальних досліджень в період проведення польотів. Основними продуктами забруднення, що містяться у вихлопі реактивних двигунів, є оксиди азоту NO_x, окис вуглецю CO, незгорілі вуглеводні HC і частки (дим). Крім них у вихлопі містяться і інші забруднювачі атмосфери: оксиди сірки, альдегіди, аерозолі, одоранти, а також ароматичні поліциклічні вуглеводні, наприклад, безнапірен. Якщо розглядати кількість утворених шкідливих продуктів у вигляді масової частки від згорілого палива, то для більшості режимів роботи двигуна вихід цих продуктів зазвичай становить 0,1 ÷ 1 %.

Концентрація викидів в значній мірі залежить від режиму роботи двигуна. При дроселюванні двигуна повнота згоряння зменшується і, як наслідок цього, збільшується кількість викидів забруднюючих речовин. Так, при режимі малого газу повнота згоряння становить 88÷96 % і залежить від розмірів двигуна, його потужності, ресурсу, кількості повітря, що пропускається з компресора і ін.

Головними викидами на малому газі є окис вуглецю (до 50÷60 г/кг палива) і вуглеводи (до 10÷20 г/кг палива) як у вигляді палива, так і у вигляді частково окислених компонентів палива. Останні речовини і обумовлюють характерний запах, властивий всім аеропортам, що використовують літаки з ГТД.

Невисока повнота згоряння пояснюється низькими значеннями температури (360÷450 K) і тиску (близько 2÷4)×10⁵ Па на вході в камеру. Крім того, при бідних складах суміші в режимі малого газу паливні форсунки працюють на малих перепадах тиску (2÷4)×10⁵ Па, що призводить до значного погіршення дисперсності розпилення і нерівномірного розподілу палива в зоні горіння. Ще більше погіршує проблему погана летючість авіаційного палива. У міру збільшення потужності двигуна тиск і температура на вході в камеру згоряння зростають. На режимах повної потужності повнота згоряння наближається до 100 %, а вміст CO і HC в вихлопних газах дуже малий. Однак високі температура і тиск в камері призводять до утворення оксидів азоту і диму. На зльоті викиди NO_x досягають 40÷50 г/кг палива і диму – до 10÷15 одиниць (SAE). В якості ілюстрації на рис. 1 показано зміну змісту токсичних компонентів в залежності від навантаження двигунів JT3D; JT8D і JT9D.

Оксиди сірки утворюються при окисленні сірки, що міститься в паливі. Рівні викиду безпосередньо пов'язані з вмістом сірки в паливі і не залежать в помітному ступені від типу двигуна. Оскільки в реактивному двигуні видалення окислів з вихлопних газів утруднене, регулювання викиду здійснюється зменшенням вмісту сірки в паливі. Викид альдегідів з ГТД, мабуть, можна порівняти з викидом їх з поршневих двигунів: в обох випадках показник викиду становить 1 г/кг палива. Порівняно висока концентрація альдегідів відносно низького викиду незгорілих вуглеводнів пов'язана з горінням бідної паливної

суміші. Рівень викиду залежить від пристрою камери згоряння, особливо від зміни в часі температури продуктів згоряння.

Аерозольні викиди з газових турбін досить високі. Показник аерозольного викиду для турбореактивних двигунів становить 9 г/кг, тоді як для поршневих авіаційних двигунів він дорівнює 2 г/кг. Аерозолі включають в себе агломерати і конденсати малого розміру і можуть служити адсорбентами для активних викидів. На теперішній час роль аерозолів в забрудненні атмосфери, якщо не брати до уваги погіршення видимості, ще не встановлена. Механізм утворення поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) в процесі горіння авіаційних палив зрозумілий тільки в загальних рисах, в даний час досить мало публікацій щодо систематичних вимірів ПАВ в вихлопних газах ГТД. Проте, склалася думка, що авіація є одним з можливих джерел широкого поширення канцерогенів в атмосфері.

Другий розділ присвячений розробці науково-методичного апарату визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів.

В розділі визначено особливості впливу забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля та встановлено, що екологічна небезпека забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів визначається наступними факторами: виникнення оксидів азоту, виникнення і окислення частинок твердого вуглецю, виникнення окису вуглецю і вуглеводнів.

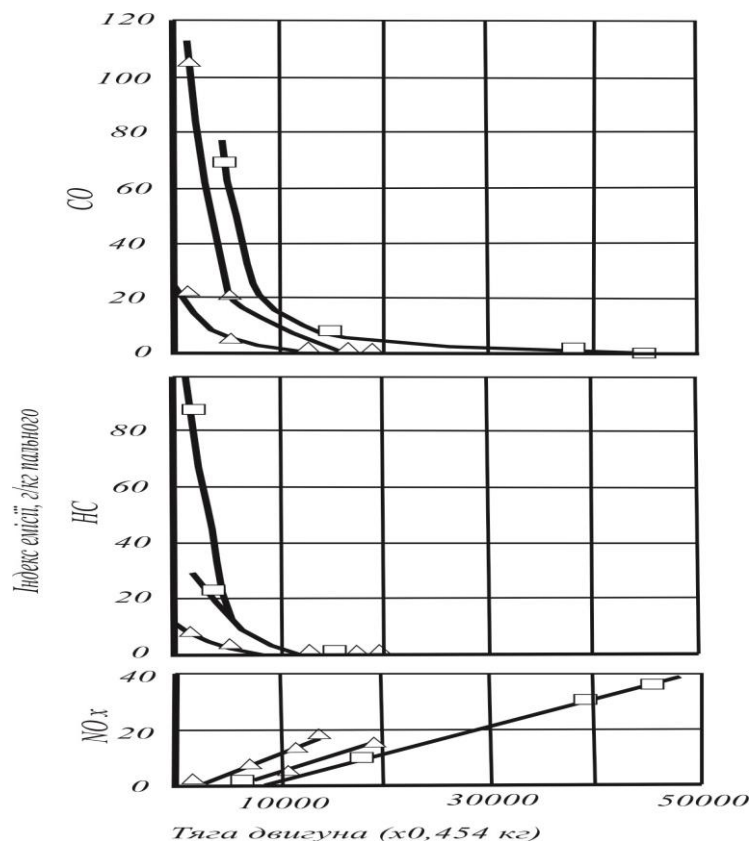


Рис. 1. Зміна вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах двигунів в залежності від навантаження: □ – JT9D; Δ – JT8D; о – JT3D

Для оцінки виникнення оксидів азоту в наслідок роботи газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів необхідно враховувати залежність концентрації утворення NO_x від часу при різних температурах полум'я, і складу суміші. У процесі горіння крім атмосферного азоту джерелом виникнення NO є азот, що входить до складу органічних

компонентів палива. Експериментами доведено, що вміст азоту в паливі змінюється: від великої кількості при низьких температурах згорання до незначної при високих. У загальному випадку при роботі авіаційного двигуна це джерело NO несуттєве, оскільки в паливах для реактивних двигунів міститься менше 0,16 кг NO (в розрахунку на NO₂) на 1000 кг палива.

Реалізація можливості зниження концентрації NO шляхом перезбагачення суміші пов'язана з рядом труднощів практичного характеру. Продукти згорання перезбагаченої суміші перед розведенням повинні бути охолоджені повітрям: за відсутності охолодження температура при догоранні суміші буде, зростати, в результаті може утворитися велика кількість NO. При згоранні перерезбагаченої суміші в реальній камері іноді виникає необхідність попереднього перемішування палива і повітря, щоб уникнути горіння крапель при стехіометричному складі, яке супроводжується утворенням великої кількості NO_x. Основну проблему захисту навколишнього середовища, пов'язану з викидом NO_x фактично створюють NO₂. Двоокис азоту, що реагує на світлі з вуглеводнями і озоном, призводить до забруднення повітря. Для того, щоб досить точно розраховувати швидкість утворення окису азоту в продуктах згорання газотурбінних двигунів, необхідно враховувати основні фізичні і хімічні механізми виникнення і окислення частинок твердого вуглецю, виникнення окису вуглецю і вуглеводнів.

На процеси утворення CO і HC великий вплив робить ступінь попереднього випаровування і перемішування палива з повітрям. Встановлено, що найменших концентрацій CO можна досягти при горінні рідкого палива у вигляді відносно великих крапель при малих швидкостях випаровування і перемішування в умовах бідного складу суміші. Концентрації незгорілих вуглеводнів зменшуються при горінні з попередніми перемішуванням або при горінні бідних сумішей з краплями невеликих розмірів. Оцінювання екологічних режимів роботи двигунів мобільних техногенних об'єктів на навколишнє природне середовище визначило, що найбільший вплив на виникнення і викид токсичних сполук здійснюють: склад суміші в первинній зоні, температура і тиск на вході в камеру, час перебування і ступінь перемішування паливо-повітряної суміші в первинній зоні камери згорання. При цьому регулювання складу суміші в первинній зоні можна здійснити перерозподілом повітря шляхом зміни геометрії елементів жарової труби.

Визначено, що викиди NO_x і CO формуються внаслідок впливу рівня тиску і температури на вході в камеру на кінетичну і хімічну рівновагу реакцій, що відбуваються в зоні горіння. Досягти рівень викидів, який задовольняє нормам при роботі камери близько межі зриву полум'я можливо, тільки застосовуючи комплекс заходів, до яких відносяться: збільшення τ_n , регулювання параметрів первинної зони, зміна геометрії камери і відповідна організація системи упорскування і змішування палива. Підвищення однорідності паливо-повітряної суміші в первинній зоні є найважливішою умовою отримання низького рівня викидів, а вдосконалення конструкції системи подачі палива доцільно розглядати як одне з найбільш ефективних засобів досягнення цієї мети.

У **третьому розділі** запропоновано екологічні напрями зменшення виходу токсичних сполук шляхом внесення змін до заходів відпрацьованих газів і палива.

Розроблення заходів щодо зниження викидів токсичних речовин доцільно за двома напрямками: а) незначна модифікація існуючих камер згорання (перерозподіл потоків повітря, використання нових систем розпилення палива, інтенсифікація процесів перемішування турбулізацією потоку, впорскування води в камеру або застосування паливних присадок); б) корінна перебудова камер згорання (застосування систем попереднього підігріву, випаровування і змішування палива, багатозонна подача палива, камери із змінною геометрією і каталітичні камери згорання). Визначено особливості

екологічного напрямку удосконалення камер згоряння в газотурбінних двигунах за рахунок вихрових потоків. Екологічно обґрунтована ефективність високих швидкостей випаровування і розподілу палива, що досягаються при використанні допоміжного пальника, а також інтенсивному перемішуванні на початку основної зони горіння, так при злітному режимі в обох камерах, згоряння число димності за Брандтом склало 5. У процесі збагачення суміші тепловиділення збільшується, і фронт полум'я вже не обмежується областю сліду за модулями, а поширюється на весь фронтний пристрій. При цьому в локальних зонах реакції розвиваються максимальні температури, і швидкість виникнення NO_x збільшується. Подальше збагачення суміші обумовлює появу додаткових ефектів, які зменшують швидкість виникнення NO_x . При горінні багатой суміші витрачається більше кисню, а це означає, що в виникненні NO_x бере участь менше кисню. Крім того, додавання палива призводить до надмірного збагачення зони поблизу модулів. При цьому, як температура в зоні горіння і швидкість виникнення NO_x повинні зменшуватися.

Зі збільшенням швидкості потоку концентрації HC і CO збільшуються (на противагу аналогічній залежності для NO_x). Отже, такі способи зменшення часу перебування, як скорочення довжини камери і забезпечення швидкого перемішування з точки зору зменшення викидів NO_x є найкращими. У камерах згоряння з форсунками механічного розпилення низький тиск подачі рідкого палива у режимі малого газу призводять до погіршення процесів розпилення і підготовки суміші. Як наслідок цього збільшуються викиди CO і HC . Зміна геометрії камери і зонний розподіл палива дозволяє підвищити повноту згоряння. У камері зі змінною геометрією це досягається зміною її аеродинаміки що дає можливість створювати локальні області з сприятливим складом суміші, підвищувати повноту згоряння і знижувати рівень емісій.

Аналіз залежності повноти згоряння від складу суміші показує, що при нормальній подачі палива повнота згоряння настільки низька (35 %), що основна маса палива не згорає і CO утворюється мало. Зі зменшенням подачі палива повнота згоряння підвищується і кількість CO збільшується. При подальшому зменшенні подачі палива кількість CO , що окислюється в CO_2 , збільшується, а емісія CO знову зменшується. Застосування зонної подачі палива дозволяє підвищити повноту згоряння палива. Запропонована технологія захисту довкілля при використанні каталітичної камери згоряння передбачає застосування каталізаторів, застосування яких екологічно доцільне для ГТД. При цьому принцип організації робочого процесу в каталітичній камері згоряння (високі швидкості хімічних реакцій, низька температура, висока стійкість полум'я і ін.) виключає можливість утворення токсичних сполук і дозволяє досягти 100 % повноти згоряння палива при помірному підвищенні гідравлічного опору. Запропонована технологія з використанням каталізаторів дозволить створити практично ідеальну камеру згоряння для газотурбінного двигуна.

Запропоновану технологію захисту довкілля шляхом застосування присадок до палива доцільно застосовувати з метою зниження викидів NO_x . В розділі проаналізовані дані про результати зі зниження окислів азоту, отримані для різних груп присадок (дослідження 70 варіантів модифікацій палива JetA в камері згоряння ГТД): розчинні присадки (наприклад, Co , Na , Fe , Ni , Sb і ін.), які є гетерогенними каталізаторами; присадки, які поглинають або рекомбінують атоми кисню CCl_4 $(\text{CF}_3)_2$ CNOH ; присадки, що знижують максимальні температури; присадки, що змінюють гідродинаміку розпилення (наприклад, полізобутилен, розчинені полімери); присадки, що руйнують NO (наприклад, анілін, мурашиний кислий амоній, ацетат гідразину); поєднання зазначених присадок для синергічного впливу (наприклад, $\text{Sb} + \text{CCl}_4$; $0,7 \text{ Ni} + 0,3 \text{ Cu}$ (монель)).

Встановлено, що присадки до палива або зміна складу, здатні впливати на зазначені фактори, можуть помітно впливати на викиди NO з реактивних двигунів. Зменшення

концентрації атомарного кисню знижує швидкість утворення NO і, отже, його викиди. Зниження кількості вільного атомарного кисню можна досягти за допомогою речовин, здатних вступати в реакцію з атомами кисню або бути каталізаторами для їх рекомбінації. Карбонати металів діють шляхом утворення перекисів металів за допомогою реакції, в якій бере участь атомарний кисень. З чотирьох випробуваних суспензій карбонатів ефективними виявилися тільки карбонати лужних металів: карбонат натрію знижував викид на 20 %, а карбонат літію – на 10 %.

Добавка води до палива дає тільки невелику зміну максимальної температури. Але навіть невелика зміна максимальної температури в реактивному двигуні може виявитися достатнім для суттєвої зміни викидів NO_x. Експерименти показують, що вплив води залежить від її маси по відношенню до маси повітря, і при відношенні води до повітря меншому 0,01 ефект порівняно невеликий. Уприскуванням води у відсік камери згоряння в кількості 50÷100 % від витрати палива можна на 20÷50 % знизити викиди NO_x. Такого ж ефекту щодо зниження NO_x можна досягти і при меншому (в 10 разів) витраті води, якщо її вводити у вигляді однорідної емульсії з паливом. Для отримання водно-паливної емульсії доцільно використовувати спеціальний гідродинамічний вихровий ультразвуковий емульгатор. Технології модифікації палива дозволяють знизити рівень NO_x на 30 %. Оскільки ці модифікації пов'язані з використанням металів, які самі можуть бути забруднювачами, один тип забруднення змінюється іншим. Тому досягнутий рівень зменшення викиду NO_x не виправдовує додаткову вартість палива. Присадки можна використовувати для зниження викиду NO_x під час зльоту літака, так як при цьому режимі виділення диму і NO_x максимальне.

Четвертий розділ присвячено екологічному оцінюванню впливу аеродромних комплексів на природне середовище ПРАТ.

Проведена екологічна оцінка впливу аеродромних комплексів на природне середовище ПРАТ, яка передбачає оцінювання забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції підготовки повітряних суден до вильоту, розроблення та використання програми побудови інтегральної оцінки станів ПРАТ, аналізування екологічної безпеки навколишнього середовища в районах аеродромів України. Проведене оцінювання забруднення приземного шару атмосфери на технічній позиції підготовки повітряних суден до вильоту ґрунтується на статистичних даних ринку авіаційних пасажирських та вантажних перевезень в Україні 34 авіакомпаній.

Проведено аналізування динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря України від стаціонарних та пересувних джерел за 1990 – 2018 роки. Визначено значення індексу забруднення атмосфери (ІЗА) в районах аеропортів України у 2018 році. Встановлено, що поршневі, газотурбінні і ракетні двигуни повітряних суден викидають в атмосферу токсичні компоненти, що розсіюється в атмосфері: оксиди вуглецю та азоту, вуглеводні, сажа, альдегіди, а при спалюванні ракетного палива – оксид вуглецю, пари соляної кислоти, хлор, двоокис вуглецю і азоту, трьохокис алюмінію. Забруднення навколишнього середовища від двигунів повітряних суден суттєвіше в порівнянні з наземним автомобільним транспортом: на 55 % більше викидається оксидів вуглецю; на 77 % – оксидів азоту; на 93 % – вуглеводнів; на 97 % – аерозолів. Оцінювання ступеня забруднення приземного шару атмосфери ПРАТ проводиться шляхом порівняння вмісту в ній речовин з діючими гігієнічними нормативами.

Категорії джерел викидів визначаються відповідно до рекомендацій з основних питань повітря охоронної діяльності з метою раціональної організації робіт з контролю дотримання нормативів викидів з урахуванням впливу викидів забруднюючих речовин на забруднення атмосферного повітря. Оцінка забрудненості ландшафтів ПРАТ була

проведена на основі екологічного аналізу точок, розташованих в районах досліджуваних об'єктів в районах аеродромів України. Контроль за станом земель ПРАТ, що знаходиться в зоні впливу повітряного транспорту і технічних засобів забезпечення польотів, визначає необхідність сучасного інформаційного забезпечення. Визначальною умовою отримання комплексних відомостей про територію є матеріали аерокосмічної зйомки. Безпосередній аналіз стану природних вод за даними проведеного моніторингу, в районах прилеглих до ПРАТ, не показав значного збільшення в них вмісту шкідливих речовин. Їх зміст в поверхневому стоці, що надходить з аеродромних комплексів, на 25–30 % нижче ГДК. У районах ПРАТ відзначається певне забруднення ґрунтів токсичними сполуками (до 1 ГДК і трохи більше).

Обґрунтовано, що формування і розрахунок забруднення навколишнього середовища ПРАТ забруднюючими речовинами від двигунів повітряних суден необхідно проводити з урахуванням аеродинаміки струменів газоподібних викидів авіаційних двигунів. При розрахунку полів концентрації і щільності потоку враховуємо, що домішки, викинуті в атмосферу надзвуковим струменем випадають на поверхню землі. Тому, виникає необхідність моделювання струменя як джерела домішки. У якості математичної моделі розглядається система диференціальних рівнянь руху і нерозривності для надзвукових струменів, деформованих навколишнім простором і вітровим потоком.

Запропоновано алгоритм програми побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ. В системі управління екологічною безпекою ПРАТ пропонується використовувати концепцію «екологічного ризику». При цьому «ризик» визначається як поєднання ймовірності події та її наслідків. Категорії джерел викидів визначені за наступними параметрами (Φ , Q):

$$\Phi = \frac{M}{H \cdot C_{ГДК}}; \quad Q = \tilde{C}_{MAX},$$

де M – максимальна величина викиду забруднюючої речовини, що міститься в відпрацьованих газах, г/с;

$\tilde{C}_{iMAX} = \frac{C_{iMAX}}{C_{iГДК}} = \frac{E_i \cdot G_m \cdot 10^3}{C_{нов} \cdot C_{iГДК}}$ – максимальна розрахункова концентрація i -ої забруднюючої речовини в частках ГДК; H – висота викиду, м.

Визначення ступеня енергетичного впливу об'єкта на навколишнє середовище здійснюється за значенням критерію оцінки зміни якості навколишнього середовища

$$\Pi = \sum_{j=1}^m \cdot \sum_{i=1}^n T \cdot P \cdot B_{ji} \cdot R_{ji},$$

де $V_{нов} = T \cdot P \cdot B_{ji} = 10^3 \cdot \frac{M_{ji}}{C_{ГДКi}}$ – потрібне споживання повітря, м³; $R_{ji} = \frac{D_j}{H_j + D_j} \cdot \frac{C_{iMAX}}{C_{iГДК}}$ –

геометричний параметр; m – кількість циклів "зліт-посадка" повітряних суден з викидом однотипних забруднюючих речовин; n – номер забруднюючої речовини, що міститься в відпрацьованих газах; C_{iMAX} – максимальна концентрації i -ої забруднюючої речовини в гирлі джерела, $C_{iГДК}$ – гранично допустима концентрація, мг/м³; D_j – діаметр гирла джерела, м; H_j – висота зльоту j -ого повітряного судна, м.

Для проведення екологічної оцінки впливу аеродромних комплексів на природне середовище ПРАТ застосовано алгоритмічне и програмне забезпечення інтегрального

екологічного оцінювання стану об'єктів моніторингу. Побудова інтегрального оцінювання стану об'єктів моніторингу передбачає виконання двох процедур: створення та застосування семантичної моделі інтегрального оцінювання стану ПРАТ; проведення інтегрального екологічного оцінювання стану об'єкту моніторингу. Величина інтегральної оцінки стану об'єктів моніторингу ПРАТ залежить від інтервалів змін показників стану та їх гранично допустимих значень

$$d = \prod_{j=1}^m [\exp(-\exp(-z_j))]^{\lambda_j} = \exp\left(-\sum_{j=1}^m \lambda_j \exp(-z_j)\right)$$

де z_j – «кодоване» значення j -го показника стану, що обчислюється за формулою $z_j = \gamma_0 + \gamma_1 u_j$. Для цієї залежності «чутливість» в областях бажаності близьких до 0 і 1 нижче, ніж в середній зоні графічного представлення функції бажаності Е. Харрінгтона. Коефіцієнти γ_0 , γ_1 визначаються фіксуванням значень функції бажаності d_{j1} , d_{j2} для двох значень показників екологічного стану ПРАТ, відповідно u_{j1} , u_{j2} .

Алгоритм програми побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ передбачає виконання наступних процедур: формування множини показників стану; вибір шкал вимірювання показників стану; вибір функцій нормування показників стану; вибір функції агрегування; аналіз отриманих інтегральних оцінок.

Пропонується використовувати підхід до формування переліку показників стану ПРАТ заснований на побудові «дерева» (ієрархічної структури) властивостей (показників), який враховує: стан повітряного середовища (вміст діоксиду азоту, зважених речовин (пилу), діоксиду сірки, оксиду вуглецю, свинцю в повітрі); стан водного середовища (вміст марганцю, заліза, нітратів, нітритів у воді); стан ґрунтів (вміст міді, цинку, свинцю, кадмію, нікелю в ґрунті).

Завдання побудови інтегрального екологічного оцінювання стану ПРАТ може бути розглянуте як задача пошуку точки d на відрізку $[0,1]$ – значення інтегральної оцінки, мінімально віддаленої за заданим правилом щодо точок d_1, d_2, \dots, d_m – значень часткових (окремих) оцінок стану об'єкта моніторингу.

Як засіб програмної реалізації побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ використовувалася платформа NET Framework, заснована на використанні загальнономовного середовища виконання Common Language Runtime (CLR). Вибір даної технології визначається можливостями платформи WPF, які використовувалися для реалізації графічної побудови дерева якостей приаеродромних територій. Для роботи з WPF застосовувалася NET-сумісна мова, тому використовувалась об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня C#. Для оцінки станів ПРАТ використовувався програмний комплекс побудови інтегральної оцінки станів об'єктів моніторингу (програма Integral Assessment). Програма Integral Assessment працює під управлінням операційної системи Windows версії 7 і вище. Для її функціонування необхідний програмний продукт Excel версії 2007 і вище. Програма Integral Assessment написана на мові C# в середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2012 Professional.

Алгоритм програми побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ полягає в наступному:

- побудова ієрархічної структури («дерева») якостей ПРАТ;
- визначення переліку показників стану ПРАТ;
- опис шкал вимірювань показників стану ПРАТ;
- розрахунок числових оцінок пріоритету елементів дерева показників якостей стану ПРАТ;
- формування списку станів ПРАТ;

- побудова матриці вихідних даних (таблиці типу «стан об'єкта моніторингу – показник стану»);
- визначення інтервалу зміни показників стану ПРАТ;
- завдання гранично допустимих значень показників стану ПРАТ;
- побудова часткових екологічних оцінок і визначення нормативних рівнів;
- побудова інтегрального екологічного оцінювання стану ПРАТ;
- ранжування станів ПРАТ за величиною інтегральної екологічної оцінки стану ПРАТ;
- графічне представлення результату побудови інтегрального екологічного оцінювання ПРАТ;
- імпорт (експорт) нормативно-експертної інформації, вхідних і вихідних даних з файлів (в файл) у систему управління екологічною безпекою.

Проведено оцінювання екологічної безпеки навколишнього середовища в районах аеродромів України. Застосування інтегрального екологічного оцінювання станів навколишнього середовища здійснено в категоріях ризику для аналізу екологічної ситуації в 17 ПРАТ України (рис.2, таблиця 1).

Надана інтегральна оцінка ризику хімічного забруднення навколишнього середовища в районі Аеропорту «Київ» імені Ігоря Івановича Сікорського (міжнародний аеропорт в місті Київ, район Жуляни). Запропонований науково-методичний апарат апробований до побудови інтегрального оцінювання ризику забруднення навколишнього середовища в районах аеропортів України (таблиця 2).

В додатках представлено список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію матеріалів дисертації, акти впровадження, забруднення атмосферного повітря та руйнація озонного шару, інфраструктура аеропортів та карта повітряних маршрутів в Україні.

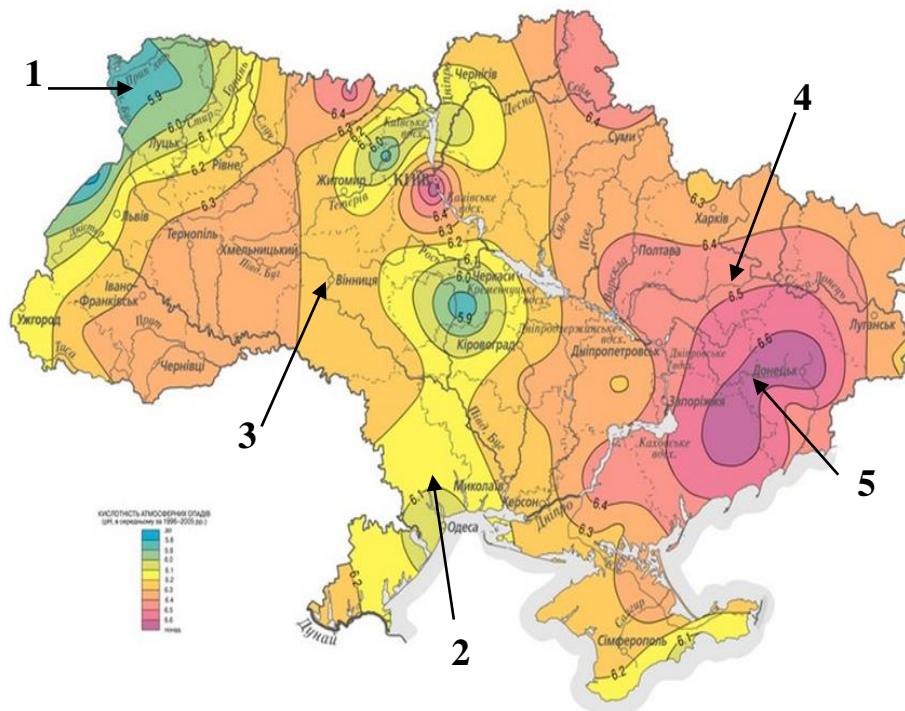


Рис. 2. Інтегральна оцінна карта ризику хімічного забруднення навколишнього середовища в районах аеропортів України за шкалою Харрінгтона
1 – дуже низький; 2 – низький; 3 – середній; 4 – високий; 5 – дуже високий

Таблиця 1

Показники забруднення повітря в районах аеродромів

№ п/п	Аеропорт	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇
1	ДП «Міжнародний аеропорт Бориспіль»	0,25	0,27	0,09	1,12	0,0005	0,003	0,008
2	Міжнародний аеропорт «Дніпропетровськ»	0,02	0,25	0,05	1,92	0,0002	0,0036	0,009
3	КП «Міжнародний аеропорт «Запоріжжя»»	0,035	0,272	0,107	2,43	0,0001	0,003	0,007
4	Міжнародний аеропорт «Івано-Франківськ»	0,075	0,35	0,1	0,6	0,0001	0,003	0,0085
5	КП «Міжнародний аеропорт Київ (Жуляни)»	0,011	0,07	0,1	1,92	0,0003	0,004	0,008
6	КП «Міжнародний аеропорт Кривий Ріг»	0,012	0,291	0,28	2,21	0,0001	0,004	0,008
7	КП «Аеропорт Вінниця»	0,02	0,12	0,11	1,67	0,0003	0,0041	0,007
8	КП «Міжнародний аеропорт Одеса»	0,011	0,186	0,125	1,65	0,0002	0,003	0,007
9	Обласне КП «Міжнародний аеропорт Рівне»	0,056	0,29	0,07	1,69	0,0003	0,0042	0,011
10	Обласне КП «Аеропорт Суми»	0,033	0,252	0,199	0,742	0,0002	0,004	0,008
11	Аеропорт «Тернопіль»	0,04	0,31	0,15	1,56	0,0002	0,0038	0,010
12	КП «Аеропорт Черкаси»	0,051	0,21	0,04	1,8	0,0002	0,0049	0,011
13	Міжнародний аеропорт «Харків»	0,03	0,14	0,12	1,81	0,0003	0,004	0,011
14	КП «Міжнародний аеропорт Чернівці»	0,071	0,271	0,071	1,266	0,00023	0,0056	0,022
15	Аеропорт «Херсон»	0,04	0,17	0,18	2,11	0,0003	0,0070	0,009
16	ДП «Міжнародний аеропорт Львів імені Данила Галицького»	0,011	0,117	0,1	0,71	0,0003	0,004	0,008
17	Закарпатське обласне КП «Міжнародний аеропорт Ужгород»	0,012	0,2	0,12	1,68	0,0003	0,004	0,008

Примітка: y₁, y₂, y₃, y₄, y₅, y₆, y₇ - відповідно вміст діоксиду азоту, зважених речовин (пилу), діоксиду сірки, оксиду вуглецю, свинцю, фенолу, формальдегідів в повітрі

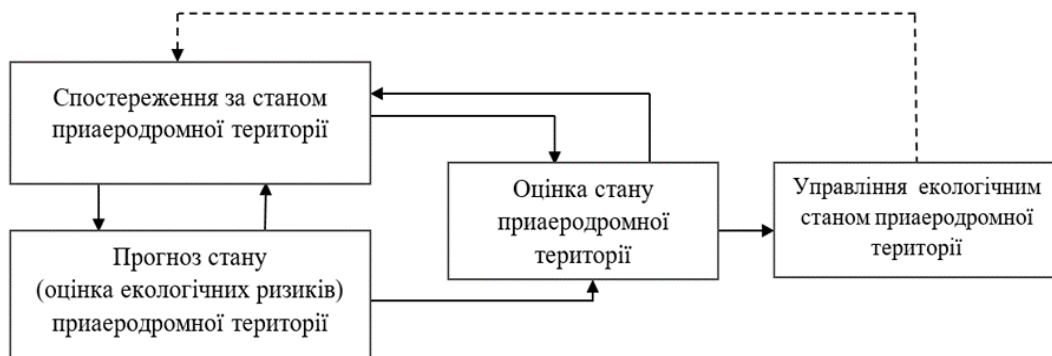
Таблиця 2

Показники стану та інтегральна екологічна оцінка ризику забруднення навколишнього середовища а районі аеропорту Жуляни

№ п/п	Рік	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	Рівень забруднення
1	2001	0,020	0,17	0,27	4,09	0,0009	0,013	0,022	високий
2	2002	0,018	0,16	0,25	3,85	0,0009	0,014	0,022	високий
3	2003	0,016	0,15	0,23	3,73	0,0008	0,013	0,020	середній
4	2004	0,014	0,14	0,22	3,62	0,0007	0,011	0,018	середній
5	2005	0,012	0,13	0,20	3,45	0,0007	0,010	0,016	низький
6	2006	0,010	0,12	0,17	3,14	0,0006	0,009	0,012	середній
7	2007	0,008	0,12	0,19	3,35	0,0007	0,009	0,012	низький

№ п/п	Рік	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	Рівень забруднення
8	2008	0,006	0,11	0,20	3,67	0,0006	0,010	0,013	низький
9	2009	0,009	0,10	0,21	3,81	0,0007	0,010	0,014	низький
10	2010	0,009	0,10	0,23	3,95	0,0008	0,010	0,016	середній
11	2011	0,011	0,15	0,25	4,01	0,0008	0,011	0,016	високий
12	2012	0,011	0,13	0,20	3,56	0,0006	0,010	0,013	високий
13	2013	0,012	0,11	0,15	3,12	0,0005	0,008	0,010	середній
14	2014	0,012	0,11	0,14	2,87	0,0005	0,007	0,010	низький
15	2015	0,011	0,10	0,13	2,56	0,0004	0,006	0,009	низький
16	2016	0,011	0,08	0,12	2,11	0,0004	0,005	0,008	низький
17	2017	0,012	0,07	0,11	1,93	0,0003	0,005	0,008	низький

Запропонована система управління екологічною безпекою ПРАТ представлена на рис. 3



Структурна схема інформаційної підсистеми моніторингу ПРАТ наведена на рис. 4.



ВИСНОВКИ

У результаті проведених у дисертаційній роботі досліджень вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає в розробці методів і алгоритмів оброблення даних в інформаційній системі моніторингу забруднення навколишнього середовища в районах аеродромів продуктами згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА на основі вербально-числового аналізу ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських

рішень. В роботі розкриті особливості та закономірності удосконалення системи управління екологічною безпекою при оцінюванні екологічного впливу мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля на прикладі газотурбінних двигунів. При цьому основні наукові і практичні результати полягають у такому.

1. В роботі запропоновано алгоритм побудови інтегрального екологічного оцінювання стану навколишнього середовища ПРАТ, який відрізняється тим, що екологічна оцінка є середньозваженою геометричною величиною і може застосовуватися для вербально-числового аналізу екологічного ризику та враховує вплив ГТД ЛА. Алгоритм побудови інтегрального екологічного оцінювання стану навколишнього середовища ПРАТ передбачає використання запропонованої аналітичної моделі, яка характеризує закономірності впливу на стан довкілля в залежності від режимів роботи авіаційних ГТД на основі розрахунку викидів продуктів горіння авіаційного палива. Запропонований підхід надає можливість проведення екологічного оцінювання для визначення рівня забруднення навколишнього середовища на ПРАТ.

2. В роботі запропоновано науково-методичний апарат зниження викидів токсичних речовин шляхом незначної модифікації існуючих камер згорання та перебудови камер згорання.

3. Запропоновано науково-методичний підхід оцінювання стану аеродромних комплексів при забрудненні продуктами горіння авіаційного палива від ГТД повітряних суден на території аеродромів, відмінною рисою, якого є можливість застосування інформаційної підсистеми моніторингу ПРАТ для подальшого аналізу прогнозування екологічних ризиків в системі управління екологічною безпекою ПРАТ.

4. 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 , CO_2 , вуглеводні і оксиди азоту, а також викиди SO_2 , які залежать від рівня сірки в паливі). Іншими шкідливими речовинами, які виділяються у відносно невеликих концентраціях, є N_2O і CH_4 .

5. Як засіб програмної реалізації побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ використовувалася платформа NET Framework, заснована на використанні загальнономовного середовища виконання Common Language Runtime (CLR). Вибір даної технології визначається можливостями платформи WPF, які використовувалися для реалізації графічної побудови дерева якостей ПРАТ. Для роботи з WPF застосовувалася NET-сумісна мова, тому використовувалась об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня C#. Для оцінки станів ПРАТ використовувався програмний комплекс побудови інтегральної оцінки станів об'єктів моніторингу (програма Integral Assessment). Програма Integral Assessment працює під управлінням операційної системи Windows версії 7 і вище. Для її функціонування необхідний програмний продукт Excel версії 2007 і вище. Програма Integral Assessment написана на мові C# в середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2012 Professional.

6. Запропонований алгоритм програми побудови інтегрального екологічного оцінювання станів ПРАТ апробований до оцінювання ризику забруднення навколишнього середовища в районах аеропортів України.

7. Розроблений науково-методичний та програмне забезпечення орієнтовано на фахівців операторів державних систем екологічного моніторингу при виконанні завдань управління екологічною безпекою та оцінки екологічних ризиків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля.

8. Достовірність наукових і практичних результатів підтверджена збігом отриманих результатів із відомими даними та перевіркою експериментальних досліджень. Основні наукові і практичні результати, що отримані в дисертаційній роботі впроваджені та можуть бути застосовані в системах екологічного моніторингу при вербально-числовому аналізі ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

9. Мета дослідження, яка полягала у розробці методів і алгоритмів оброблення даних в інформаційній системі моніторингу забруднення навколишнього середовища в районах аеродромів продуктами згоряння авіаційного палива від ГТД ЛА на основі вербально-числового аналізу ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень – досягнута, та всі часткові завдання вирішені повністю. Наукові результати досліджень є внеском в теорію розроблення наукових методів дослідження комплексного оцінювання та прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище та людину.

10. Основні положення опубліковані у 26 статтях в наукових журналах та збірниках наукових праць. Результати апробовано на 15 наукових конференціях, що підтверджено опублікованими тезами доповідей. Матеріали роботи були використані у 5 звітах науково-дослідної роботи.

11. Перспективним напрямком подальших досліджень є створення системи управління екологічною безпекою ПРАТ з прогнозуванням екологічних ризиків та підтримки прийняття управлінських рішень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Китайчук І.Е., **Михеев В.С.** Прибор оперативного контроля информационных потоков «ALEX» / Технологические системы: Научно-технический журнал. – К.: 2001. – №5(11), с.12–14.

2. Кулик А.С., Симонов В.Ф., Пасичник С.Н., Сидоренко Н.Ф., Панов В.М., **Михеев В.С.** Разработка алгоритмов регулирования расхода топлива электронного регулятора ГТД / Научно-технический журнал: Вестник двигателестроения, №2, 2004, с.193–196.

3. Применение принципа структурной избыточности при проектировании САУ ГТД / Ю.Ф. Басов, И.Е. Китайчук, **В.С. Михеев**, В. М. Панов, Н.Ф. Сидоренко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 10(26). – С. 163–165.

4. Программно-технический комплекс для испытаний газотурбинных двигателей / Михеев В.С., Китайчук И.Е., Жеребкина Т.Ф., Авраменко И.Е. / Радиоэлектронні і компютерні системи, – 2007, №6(25), с. 120–122.

5. Определение коэффициента ПД-закона управления дозатором топлива из состава САУ ГТД / Китайчук И.Е., Михеев В.С., Модиевский Е.А., Шийка А.Н. / Х.: НАКУ «ХАІ», – 2008, Вип. 9(56), с.138–142.

6. Особенности стартовой раскрутки ГТД с помощью встроенной вентильной электрической машины / Китайчук И.Е., **Михеев В.С.**, Модиевский Е.А., Остроумов Б.В. / Х.: НАКУ «ХАІ», – 2009, Вип. 8(65), с.143–147.

7. Присяжний В.І., **Михеев В.С.** Аналіз екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля / К.: ДЕА, 2019. – № 4(27), с. 5–11.

8. **Михеев В.С.** Розвиток теорії функціональної стійкості екологічних систем, як стійкості функціонала екологічної безпеки /Машков О.А., Жукаускас С.В., Нігородова С.А., Михеев В.С. / Екологічні науки: науково-практичний журнал / К.: ДЕА, 2019. – № 4(27), с. 62–77.

9. Бондар О.І., Машков О.А., **Михеев В.С.** Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля / Екологічні науки: науково-практичний журнал / К.: ДЕА, 2020. – № 1(28), 2020, с. 191–200.

10. Mashkov O.A., **Mikheev V.S.**, Nigorodova S.A., Zhukauskas S.V. System support of ecological security of the ecosystem by creating a system of tips for making informational ecological decisions / Екологічні науки: науково-практичний журнал / К., ДЕА, 2020. – № 2(29), 2020, с. 133–142.

11. Бондар О.І., Машков О.А., **Міхеєв В.С.** Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020. – № 3(30), 2020, с. 30–38.

12. Бондар О.І., Машков О.А., **Міхеєв В.С.**, Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Технологія побудови автоматизованої системи екологічного моніторингу з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів / Екологічні науки: науково-практичний журнал / К.: ДЕА, 2020.-№ 4(31), 2020, с. 11-19.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

13. **Міхеєв В.С.** Повышение отказоустойчивости регуляторов САУ / Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ 2004 / Тези доповіді. – Х. НАКУ «ХАІ». – 2004, – с.157.

14. **Міхеєв В.С.** Алгоритмы регулирования расхода топлива САУ ГТД / Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ 2004 / Тези доповіді. – Х. НАКУ «ХАІ». – 2004, – с.159.

15. **Міхеєв В.С.** Применение системного подхода для обеспечения отказоустойчивости САУ ГТД / Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ 2005 / Тези доповіді. – Х. НАКУ «ХАІ». – 2005, – с.165.

16. **Міхеєв С.В.** Застосування інформаційних технологій для оцінювання емісії забруднюючих речовин авіадвигунів / Збірка наукових праць: Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції.– Херсон: Вид. ХНТУ, 2016., с. 178.

17. **Міхеєв С.В.** Environmental protection technology by changing the geometric characteristics of the combustion chamber, the zone distribution of fuel and the transfer of air from the compressor to the atmosphere / Збірка наукових праць: Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції.– Херсон: Вид. ХНТУ, 2017., с. 256.

18. **Міхеєв В.С.** Рубрикатор завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем ДЗЗ та ГІС (нормативно-методичний документ) / Пашков Д.П., Бондар О.І., Машков О.А., Шевченко Р.Ю., Міхеєв В.С., Патлашенко Ж.І., Тимошенко М.М./ Київ, вид ДЕА, 2018. 26 с.

19. Машков О.А., Мамчур Ю.В., **Міхеєв С.В.** Сучасні проблеми управління екологічною безпекою з використанням пілотованих літальних апаратів / “Проблеми екологічної безпеки” XVI міжнародна науково-технічна конференція: Матеріали конференції — Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2018 с.65.

20. **Міхеєв С.В.** Assessment of surface air pollution on the technical position of aircraft preparation for departure / Збірка наукових праць: Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції.– Херсон: Вид. ХНТУ, 2018., с. 95.

21. **Міхеєв С.В.** Проблеми оцінювання екологічного впливу мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля на прикладі газотурбінних двигунів / Матеріали науково-технічної конференції “Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу” м. Київ, ДЕА, 24–25 квітня 2018 р., с. 20.

22. Машков О.А., **Міхеєв С.В.** Проблеми математичного моделювання та застосування методів механіки для забезпечення екологічної безпеки складних об'єктів / Матеріали Міжнародної наукової конференції присвяченої 100-річчю Національної академії наук України: «Мікро- та нанонеоднорідні матеріали: моделі та експеримент», Львів, Україна, «Растр-7», 17–18 вересня 2018, с. 16–18.

23. Бондар О.І., Машков О.А., **Міхеєв С.В.** Актуальні проблеми удосконалення системи управління екологічною безпекою при транскордонних екологічних конфліктах /

5-й Міжнародний конгрес “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”: збірник матеріалів. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 1 електр. опт. диск (DVD). Львів, 26–29 вересня 2018, с.85.

24. **Міхеєв С.В.** Інформаційні технології оцінки екологічної безпеки навколишнього середовища в районах аеродромів України / Збірка наукових праць: Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон: Вид. ХНТУ, 2019., с. 89.

25. **Міхеєв С.В.** Сучасні технології визначення забруднюючих речовин газотурбінних двигунів мобільних техногенних об'єктів / Матеріали 3 Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», Державний університет телекомунікацій МОН України, 11–12 квітня 2019 р., с.68;

26. **Міхеєв С.В.** Екологічна оцінка впливу аеродромних комплексів на природне середовище приаеродромній території / Матеріали науково-технічної конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» м. Київ, ДЕА, 24–25 квітня 2019 р., с.49;

27. Бондар О.І., Машков О.А., **Міхеєв В.С.** Системний підхід до визначення та усунення екологічних загроз та ризиків України /Актуальні питання техногенної безпеки України: Матеріали II Всеукраїнської наукової конференції. Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2020. – с. 155–160.

АНОТАЦІЯ

Міхеєв В.С. Оцінювання екологічного впливу мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля на прикладі газотурбінних двигунів. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека (06 Техногенна безпека, технічні науки). – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Міністерство енергетики та захисту довкілля, Київ, 2020.

Роботу присвячено розробці методів і алгоритмів оброблення даних в інформаційній системі моніторингу забруднення навколишнього середовища в районах аеродромів продуктами згоряння авіаційного палива від газотурбінних двигунів літальних апаратів на основі вербально-числового аналізу ризику для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

В роботі запропоновано алгоритм побудови інтегрального екологічного оцінювання стану навколишнього середовища приаеродромної території, який відрізняється тим, що в ньому екологічна оцінка є середньозваженою геометричною величиною і може застосовуватися для вербально-числового аналізу екологічного ризику та враховує вплив газотурбінних двигунів літальних апаратів. Отримана аналітична модель, яка характеризує закономірності впливу на стан довкілля в залежності від режимів роботи авіаційних ГТД на основі розрахунку викидів продуктів горіння авіаційного палива, що надає можливість проведення екологічного оцінювання для визначення рівня забруднення навколишнього середовища на приаеродромній території. Удосконалено науково-методичний апарат зниження викидів токсичних речовин шляхом незначної модифікації існуючих камер згоряння та їх перебудови. Отримав подальший розвиток метод оцінювання стану аеродромних комплексів при забрудненні продуктами горіння авіаційного палива від газотурбінних двигунів повітряних суден на території аеродромів, відмінною рисою, якого є можливість застосування інформаційної підсистеми моніторингу приаеродромної території для подальшого аналізу прогнозування екологічних ризиків в системі управління екологічною безпекою приаеродромних територій.

Ключові слова: авіаційна техніка, аеродром, авіаційний транспорт, викиди, газотурбінний двигун, емісія двигунів, екологічна безпека, екологічний ризик, екологічне забруднення, системний підхід.

ABSTRACT

Mikheev V.S. Estimation of ecological impact of mobile technogenic objects on the state of the environment on the example of gas turbine engines Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for Candidate of Science Degree in Specialty 21.06.01 - Environmental Safety (06 Technogenic Safety, Engineering Sciences). - State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Ministry of Energy and Environmental Protection, Kyiv, 2020.

The work is devoted to the development of methods and algorithms for data processing in the information system for monitoring environmental pollution in airfield areas by combustion products of aviation fuel from gas turbine engines of aircraft based on verbal-numerical risk analysis to enhance the validity of management decisions.

The results of the analysis show that civil and military aircraft have a negative impact on the environmental situation of airfields and airfields. The effect of aviation on the environment is the pollution of the atmosphere by combustion products of aviation, road and other fuels, contamination of soil and groundwater with fuel and lubricants (emergency drains of fuel from aircraft, ducts during refueling, etc.), noise pollution and a number of other pollutants.

Aviation emissions occur through the use of jet fuel (kerosene) and aviation gasoline (for piston engines), which are used as fuel for aircraft.

It is determined that the maximum possible environmental pollution is possible at the moments of maximum power intensity of the aircraft, at the initial stage of start and climb. Studies have shown that the most polluted areas are the adjacent territories in the area of aerodromes and in particular the runway.

In the work the algorithm of construction of the integral ecological estimation of the state of the environment in the aerodrome territory is proposed, characterized in that it is a weighted average geometric value and can be used for verbal-numerical analysis of ecological risk and taking into account the influence of gas turbine engines of aircraft. An analytical model was obtained that characterizes the patterns of influence on the environment depending on the modes of operation of aviation GTD based on the calculation of emissions of combustion products of aviation fuel, which provides the possibility of environmental assessment to determine the level of environmental pollution in the aerodrome territory.

The scientific and methodological apparatus for the reduction of toxic substances by a slight modification of the existing combustion chambers and the restructuring of the combustion chambers has been improved. The method of estimation of the condition of aerodrome complexes at pollution of products of combustion of aviation fuel from gas turbine engines of aircraft in the territory of aerodromes has been further developed;

The practical significance of the obtained results makes it possible to assess the state of the environment and to analyze the data of aviation fuel combustion products from gas turbine engines of aircraft, which makes it possible to determine the effective mode of use of aircraft power plants.

The proposed scientific and methodological apparatus allows to calculate and determine the nature conservation measures, which can have a positive effect on the environment in the area of the aerodrome for environmental safety. Also, the developed scientific and methodological apparatus can be used in environmental assessment to determine the level of environmental pollution at the aerodrome, which is the basis for carrying out prognostic analysis and determining the level of environmental risks.

The scientific results of the researches are a contribution to the theory of development of scientific methods of research of the complex estimation and forecasting of influence of technogenic pollution on environment and man.

A promising direction for further research is the creation of a system of environmental safety management in the airfield territories with the prediction of environmental risks and the support of management decisions.

Key words: aviation engineering, airfield, aviation transport, emissions, gas turbine engine, engine emission, environmental safety, environmental risk, environmental pollution, systematic approach.