

Київський міжнародний університет цивільної авіації

ЗАПОРОЖЕЦЬ Олександр Іванович



УДК 629.735.33: 656.71.053.7  
551.510.42: 614.7

**РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА  
ВІД ВПЛИВУ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ**

Спеціальність 05.22.14 - Експлуатація повітряного транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ 1997

АВ 38.567

Дисертацією є рукопис.  
Робота виконана на кафедрі безпеки польотів  
Київського міжнародного університету цивільної авіації  
Міністерства освіти України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
Токарев Вадим Іванович  
кафедра безпеки польотів Київського  
міжнародного університету цивільної авіації

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Кас'янов Володимир Олександрович  
завідувач кафедри теоретичної механіки  
Київського міжнародного університету  
цивільної авіації  
доктор технічних наук, професор  
Петрашевський Олег Львович  
начальник Головного управління  
науково-технічної політики, промисловості  
та сертифікації Міністерства транспорту України  
доктор технічних наук  
Скорченко Віктор Федорович  
доцент кафедри проектування доріг  
Українського транспортного університету

Провідна організація:  
Національний технічний університет "Київський політехнічний  
інститут", Міністерство освіти України, м. Київ

Захист відбудеться 30 жовтня 1997р о 15 годині на засіданні  
спеціалізованої вченої Ради Д 01.35.04 при Київському міжнародному  
університеті цивільної авіації за адресою:  
252058, Київ-58, проспект Космонавта Комарова 1, КМУЦА.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці КМУЦА.  
Автореферат розісланий "\_\_\_" вересня 1997р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої Ради,  
доктор технічних наук

М.С. Кулик.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00751515 (0)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність роботи

Зростаюча занепокоєність людей погіршенням стану навколишнього природного середовища (НПС) є найбільш важливою причиною, через яку інтерес до проблеми охорони НПС не слабне. Ця проблема є особливо гострою для України, в першу чергу через відсутність необхідного фінансового забезпечення природоохоронних заходів в умовах економічної кризи, що склалася, і її вирішення сьогодні є одним із пріоритетних напрямків державної діяльності. Тому оцінка і зменшення несприятливих чинників об'єктів цивільної авіації (ЦА) є актуальною задачею, нерозривно зв'язаною з екологічною проблемою в Україні. В дисертаційній роботі обгрунтований *збалансований підхід*, як різновид системного підходу до вирішення складних комплексних проблем, для дослідження і обгрунтування засобів оцінки і зниження рівнів несприятливого впливу ЦА на НПС.

*Сутність збалансованого підходу* полягає в здійсненні комплексу профілактичних заходів зменшення впливу об'єктів ЦА на НПС, за умов якого досягаються цілі природоохоронної діяльності на підприємствах і в цілому у галузі ЦА в прийнятні терміни і при існуючих фінансових ресурсах. *Основою збалансованого підходу* до вирішення проблеми охорони НПС (ОНПС) в ЦА складають: техніко-технологічне удосконалення авіаційної техніки (АТ) і засобів її експлуатації; технічне нормування характеристик шуму і емісії АТ; сертифікація АТ на відповідність характеристик шуму і емісії нормативним вимогам; нормування показників стану НПС в районі і на околицях аеропортів; екологічна експертиза (ОВОС) підприємств і об'єктів ЦА; впровадження заходів по зменшенню несприятливого впливу об'єктів ЦА на НПС; зонування території, планування і контроль використання земельних ділянок на околиці аеропортів; моніторинг рівнів впливу несприятливих чинників в районі і на околиці аеропортів; реалізація економічних механізмів регулювання проблеми ОНПС. При *обгрунтуванні збалансованого підходу* вихідним положенням є концепція комплексного економіко-екологічного управління.

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

Робота виконана в рамках науково-дослідних тем *за планом МЦА СРСР*: "Разработка моделей эксплуатации самолетов с учетом производимого загрязнения окружающей среды в окрестности аэропорта" (№1.14.3), "Провести исследования по оптимизации характеристик шума и обоснованию норм предельно допустимых

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

выбросов загрязняющих веществ с целью защиты окружающей среды при эксплуатации самолетов ГА" (№1.14.9); в рамках Цільової комплексної програми розвитку транспортного комплексу України "Транспорт": "Проведення досліджень та розробка нормативної документації для природо-охоронних заходів по аеропортах і прилеглих до них територіях" (п.2.2.5), "Розробка та впровадження в одному з аеропортів України системи контролю шуму від літаків, методики розрахунку, прогнозування і компенсації від впливу шуму на місцевості" (п.2.2.10), "Провести дослідження з метою впровадження шумозахисних екранів в аеропортах України" (п.2.2.7), "Розробити методику розрахунку концентрацій забруднення атмосферного повітря викидами повітряних суден" (п.2.2.13.), "Зробити аналіз та розробити вимоги до рухомого складу авіаційного транспорту вітчизняного виробництва за параметрами екології та енергоспоживання (паливної ефективності)"; "Розробка інформаційної системи моніторингу факторів шкідливого впливу об'єктів авіаційного транспорту на навколишнє середовище" (за міжгалузєвою програмою "Розробка та здійснення засобів, матеріалів і ресурсозберігаючих технологій ефективності експлуатації цивільної та військової авіації України").

#### **Мета дисертаційної роботи**

*Метою роботи є опрацювання і обґрунтування інформаційного забезпечення основних елементів збалансованого підходу до вирішення проблеми ОНПС при експлуатації об'єктів ЦА на основі узгоджених моделей і засобів оцінки та контролю екологічних характеристик авіаційної техніки, несприятливого впливу об'єктів ЦА на НПС, моделей і засобів обґрунтування альтернативних заходів зниження впливу об'єктів ЦА на НПС.*

*Досягнення поставленої мети здійснено шляхом:*

1) Дослідження джерел, чинників, локальних і глобальних наслідків несприятливого впливу об'єктів ЦА на НПС.

2) Дослідження і опрацювання моделей та засобів оцінки характеристик утворення, розповсюдження і впливу авіаційного шуму (АШ).

3) Дослідження і розробки моделей і засобів оцінки характеристик утворення і розповсюдження викидів забруднюючих речовин (ЗР) від двигунів повітряних суден (ПС) в атмосферному повітрі.

4) Вирішення задач оптимізації режимів експлуатації ПС із умов зменшення впливу несприятливих чинників на НПС.

5) Наукового обґрунтування адміністративних і економічних заходів регулювання в системі ОНПС в ЦА.

6) Дослідження і опрацювання моделей оцінки ефективності акустичних екранів для зниження впливу шуму від різноманітних джерел в

районі і на околиці аеропортів ЦА.

7) Дослідження і опрацювання методів і засобів здійснення моніторингу джерел і чинників впливу ЦА на НПС.

#### **Наукова новизна**

1) Удосконалені і обґрунтовані критерії для різноманітних задач охорони НПС від несприятливого впливу ЦА.

2) Удосконалені моделі акустичних характеристик ПС для різноманітних задач оцінки впливу АШ на місцевості: сертифікації ПС по характеристикам шуму, оцінки АШ на околиці аеропорту, оптимізації режимів руху ПС і опрацювання експлуатаційних методів зниження рівнів шуму, зонування території на околиці аеропорту із умов АШ. Сформульована і вирішена задача ідентифікації акустичної моделі типу ПС, що є базовою для всіх моделей характеристик шуму ПС.

3) Розроблені моделі оцінки викидів ЗР і забруднення атмосферного повітря, що утворюються внаслідок емісії ЗР авіадвигунів (АД), які дозволять з урахуванням впливу експлуатаційних чинників дослідити характеристики забруднення повітря як в районі аеропорту, так і при здійсненні польотів у верхніх шарах атмосфери.

4) Одержані рішення задач оптимізації режимів експлуатації ПС в районі аеропорту із умов зменшення впливу несприятливих чинників ЦА на НПС, що досліджені з урахуванням впливу експлуатаційних чинників і використані для опрацювання рекомендацій по зниженню впливу ПС на НПС.

5) Обґрунтовані адміністративні і економічні заходи регулювання в системі ОНПС в ЦА: оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВОС), санітарно-захисне зонування (СЗЗ) і зонування обмеження забудови (СЗЗ), оцінка економічних збитків, плати і компенсації за несприятливий вплив об'єктів ЦА на НПС.

6) Розроблені моделі оцінки ефективності екранів, що використовуються для зниження впливу шуму від різноманітних джерел в районі і на околиці аеропортів ЦА.

7) Розроблені моделі і засоби здійснення моніторингу джерел і чинників впливу ЦА на НПС - спостереження, аналізу і прогнозування параметрів стану ЦА-НПС, як вихідної ланки системи підтримки прийняття рішення по регулюванню взаємодії ЦА і НПС.

#### **Практична цінність**

Розроблені методики, підходи і рекомендації, що мають практичне значення для здійснення природоохоронної діяльності на підприємствах і в галузі ЦА в цілому:

- концепція і основні положення програми розвитку ЦА України в

частині забезпечення екологічної безпеки;

- алгоритми, програми розрахунку на ЕОМ і номограми оцінки сумарних мас викидів ЗР протягом ЗПЦ руху окремих типів ПС в районі аеропорту для методики проведення контролю і комплексної оцінки стану навколишнього середовища на виробничих об'єктах ЦА.

- методика і програма розрахунку на ЕОМ концентрацій ЗР в атмосферному повітрі і пропозиції в проект норм гранично допустимих викидів ЗР в районі аеропорту при експлуатації ПС ЦА.

- керівництво по розрахунку чинників несприятливого впливу ПС ЦА на НПС;

- рекомендації по зменшенню викидів ЗР двигунами при експлуатації ПС.

- методика і програмне забезпечення визначення емісійних характеристик авіаційних ГТД.

- методика розрахунку викидів ЗР від ПС для узагальненої методики розрахунку викидів пересувними джерелами;

- правила визначення зон обмеження житлової забудови навколо аеропортів із умов впливу АШ;

- методика, програма розрахунку і прогнозування шуму літаків на місцевості;

- керівництво по розрахунку і проектуванню акустичних екранів для аеропортів ЦА.

- нормативи плати за викиди ЗР авіаційним транспортом.

- концепції і технічні завдання на розробку системи контролю АШ в аеропортах ЦА і інформаційної системи моніторингу чинників шкідливого впливу об'єктів ЦА на НПС.

Розроблена концепція природоохоронної діяльності на авіаційному транспорті включена до Концепції розвитку ЦА України, що затверджена КМ України від 28 грудня 1996р. Розроблені методики, правила, керівництва і рекомендації по зниженню впливу чинників запроваджені в МЦА СРСР, в Київському об'єднаному авіазагоні, в ЦЕАТ і в інституті "Украаеропроект" ДДАТУ, в Міністерствах статистики, екологічної безпеки і охорони здоров'я України. Відповідні акти про впровадження результатів приведені в Додатку до дисертації. Результати досліджень експонувалися на ВДНГ СРСР у 1987р. і відзначені срібною медаллю.

#### **Апробація результатів роботи**

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і одержали позитивну оцінку на: - *Міжнародних конференціях, симпозіумах, конгресах: Noise-93, Int. Noise and Vibration Control Conference (St.Petersburg, 1993);*

Transport Noise and Vibration, 2-nd Int. Symposium (St.Petersburg, 1994); Transport Noise and Vibration, 12-th Int. FASE Symposium (St.Petersburg, 1996); 4-th Int. Congress on Sound and Vibration (St.Petersburg, 1996); FORUM ACUSTICUM, EAA Forum (Antwerpen, 1996); "Environmental Impact Assessment", 3-d Int. Conference (Prague, 1996); Inter-Noise'97, Int Congress on Noise Control Engineering (Budapest, 1997) "Урбанізоване навколишнє середовище: охорона природи і здоров'я людини" (Київ, Рада Європи та НЕЦУ, 1995), "Обеспечение безопасности полетов в новых экономических условиях" (Киев, КМУГА, 1997), "Основні напрямки забезпечення безпеки населення та стійкості функціонування господарства України при загрозі виникнення природних та техногенних катастроф" (Київ, 1996, УБЕНТЗ); "Buildings and the Environment in Eastern Europe" (Warszawa, СІВ ТG8, 1996). - Науково-технічних конференціях: Акустическая экология'90, (Ле-нинград, 1990); VIII-X НТК по авиационной акустике (ЦАГИ, Жуковский 1988, Суздаль 1989, 1992), 1-3 НПК "Состояние и перспективы работ по охране окружающей среды в ГА", (Москва, 1982, 1987 и 1990г.г.), XI Всесоюзной акустической конференции (Москва, 1990), "Безопасность полетов в условиях опасных внешних воздействий", тезисы ВНТК (Киев, КИИГА, 1981).

Публікації. По результатам виконаних досліджень опубліковані одна монографія, 64 наукових статті та доповіді, 26 звітів з НДР.

### Структура і обсяг роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку джерел із 375 найменувань і додатку. Загальний обсяг роботи - 405 сторінок, в тому числі 111 сторінок з рисунками та таблицями.

### ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі розкрито важливість обраної проблеми, обґрунтована актуальність теми, вказані основні положення, що визначають наукове і практичне значення роботи.

В першому розділі визначена головна мета ОНПС при експлуатації об'єктів ЦА, що полягає в підтримці балансу між наслідками їх несприятливого впливу і потенційними можливостями НПС у відновленні, завдяки утворенню державної та галузевої систем контролю і управління усім спектром транспортної, виробничої, інтелектуальної, соціальної діяльності щодо реалізації екологічних проблем в ЦА.

Об'єкти ЦА є джерелами несприятливого впливу на НПС, з'являю

якого можуть перевищувати допустимі величини вітчизняних і міжнародних нормативів. Пріоритетними джерелами несприятливого впливу в районі і околицях аеропортів є ПС. Найбільш істотними чинниками несприятливого впливу на НПС є АШ і викиди ЗР. Регіональний і локальний характер екологічних проблем навколо аеропортів України визначається, головним чином, застарілим парком ПС і близькістю розміщення аеропортів по відношенню до житлової території.

В даній роботі організація діяльності по зниженню несприятливого впливу ЦА на НПС розглядається як система аналізу, обґрунтування і прийняття узгоджених рішень щодо стану НПС, а також щодо показників функціонування об'єктів ЦА, які його забруднюють. Для прийняття рішення при управлінні охороною НПС в ЦА необхідна інформація, що містить відомості про: цілі і задачі авіапідприємства або галузі у цілому в сфері ОНПС; критерії природоохоронної діяльності і границі управляємості об'єкту; стан об'єкту управління; механізми і закономірності функціонування системи ЦА-НПС на різноманітних рівнях спостереження, аналізу і прогнозу; альтернативні стратегії діяльності в системі ЦА-НПС і результати аналізу наслідків їх реалізації.

Обмеженість ресурсів управління ОНПС обумовлює необхідність опрацювання методології збалансованного підходу до вирішення проблеми ОНПС, досягнення необхідної ефективності реалізації комплексу заходів зниження несприятливого впливу об'єктів ЦА на НПС з урахуванням максимальної економічної ефективності діяльності підприємства чи галузі у цілому. *Опрацювання моделей і методів оцінки чинників несприятливого впливу ЦА на НПС, опрацювання засобів обґрунтування ефективності заходів зниження впливу даних чинників з урахуванням аналізу витрат на їх реалізацію, що необхідні для підтримки прийняття рішення в процесі управління як на рівні галузі ЦА у цілому, так і на рівні окремого авіапідприємства, становить актуальну наукову і практичну задачу.*

Результати аналізу показують, що ступінь реальної небезпеки того чи іншого чинника (незалежно від того, в якому середовищі він розповсюджується - в атмосфері, воді чи ґрунті) для здоров'я, самопочуття і життєдіяльності людини залежить від: 1) агресивності чинника (наприклад, токсичності для хімічного забруднення); 2) розповсюдження в житловій зоні; 3) рівня вираженості; 4) тривалості впливу. Наприклад, *несприятливий вплив АШ залежить* від: рівня звукового тиску (РЗТ); частотного розподілу і наявності спектральних нерівномірностей; тривалості звучання; маршрутів польоту ПС з урахуванням

профілів зльоту і посадки; кількості операцій руху ПС за добу; виду процедур, що використовуються при виконанні характерних операцій; складу авіаційного парку, використання злітно-посадкової смуги (ЗПС); часу доби і року; метеорологічних умов; використання земельних ділянок; використання забудови; типу будівельних конструкцій; відстані до аеропорту; навколишнього шуму за відсутності АШ; дифракції, рефракції і відбивання шуму при розповсюдженні у забудові залежно від топографічних і метеорологічних умов.

Існуюча на сьогодні система критеріїв для забезпечення рішення задач регулювання АШ використовує дві шкали частотної корекції - *гучності* і *шумності*. Внаслідок виконаного аналізу міжнародної і національної практики, нормативної бази для сертифікації і зонування, обгрунтована пропозиція за основу частотної корекції рівнів звуку використовувати шкалу *гучності* і всі критерії ( $L_{Аmax}$ ,  $L_{Аекв}$ ,  $SEL$ ,  $p=f(L_{Аекв})$ ) для задач регулювання шуму НПС структурувати на основі даної частотної корекції. Перспективне значення для регулювання шуму мають критерії, що ґрунтуються на основі терміну - *експозиція шуму SE*.

Несприятливий вплив хімічного забруднення повітря також залежить не тільки від рівня забруднення, що виражається через концентрацію ЗР, але й від часу експозиції забруднення. Крім того, негативний вплив забруднення повітря на людину може також проявлятися через незадоволення населення, викликане втратами різноманітного характеру.

Методологічною основою кількісної оцінки соціальної вартості і користі ОНПС є аналіз типу "*вартість/користь*". В даному випадку *користь* визначається як передбачений збиток від забруднення середовища. *Вартість* визначається витратами на підготовку і реалізацію заходів ОНПС. Розподіл ресурсів в умовах ринкової економіки здійснюється, головним чином, за рахунок системи цін. Тому визначення вартості збитків від забруднення НПС і вартості заходів ОНПС представляє актуальну задачу, нарівні з опрацюванням самих заходів. *Введення системи показників ОНПС в перелік показників здійснення господарської діяльності авіаїдприємства (галузі чи економіки держави в цілому) також відноситься до першочергових задач.*

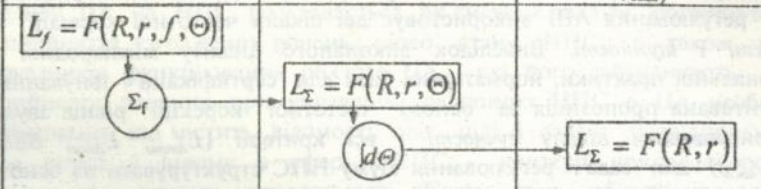
Другий розділ дисертації присвячений опрацюванню і дослідженню моделей оцінки характеристик АШ на околицях аеропорту.

Розроблені і обгрунтовані логічні рівні моделювання акустичних характеристик і впливу АШ (табл. 1). Задачі, що вирішуються і відповідні до них підходи до моделювання характеристик АШ прив'язані до етапів життєвого циклу типу ПС і окремих компонентів збалансованого

підходу до вирішення проблеми ОНПС в СА (в частині проблеми АШ).

Таблиця 1

Зв'язки між логічними рівнями моделювання характеристик АШ

1-й рівень	2-й рівень	3-й рівень
Амплітудно-частотний спектр і у напрямку випромінювання шуму $\Theta$ на відстані $r$	Шкала частотної корекції критерія АШ + діаграма направленості критерія АШ	Залежність типу "Шум - Режим - Відстань" (Шкала частотної корекції і часового усереднення критерію АШ)
$L_f = F(R, r, f, \Theta)$ 	$L_z = F(R, r, \Theta)$	$L_z = F(R, r)$

\*  $R$  - множина показників режиму польоту ПС (режиму роботи АД)

Для кожного із логічних рівнів моделювання АШ розроблені різноманітні моделі і їм відповідні зазоби оцінки характеристик АШ для різноманітних задач авіаційної акустики, що приведені в роботах автора, а також А.Г.Муніна, Є.В.Власова, В.Ф.Самохіна, В.М.Кузнєцова (усі ЦАГІ, Москва), Б.Н.Мельнікова (ДерНДІЦА, Москва), В.І.Токарева (КМУЦА, Київ), В.Г.Єнєнкова (РАУ, Рига), Р.А.Шипова (ЦІАМ, Москва), І.С.Загузова (Куйбишев), а також моделі FAA, NASA і SAE для окремих акустичних джерел ПС, або в цілому для оцінки АШ на околицях аеропорту (наприклад, моделі ANOPO і INM). Аналіз показав, що не всі розроблені моделі взаємопов'язані між собою, обумовлюючи розходження в результатах оцінки - особливо між моделями різних рівнів. Обгрунтована необхідність розробки моделей і засобів оцінки характеристик АШ різних логічних рівнів з єдиних методологічних позицій, результати використання яких не будуть суперечити одне одному. В основу наданої методології покладена база акустична модель (БAM) типу ПС, що побудована на принципі обліку внеску основних акустичних джерел в загальне акустичне поле ПС і на результатах вирішення задачі ідентифікації структури і параметрів БAM. БAM є основою для всіх рівнів моделювання АШ.

Кількість акустичних джерел, що визначають характеристики шуму ПС на місцевості, залежить від типу ПС (від типу АД в силовій установці ПС), а також від режиму польоту. В основу моделей акустичних джерел покладені напівемпіричні моделі, рекомендовані ІКАО і які мають достатньо високу точність оцінки спектральних і

сумарних РЗТ ( $\sigma = \pm 1..2$  дБА для рівнів звуку).

Поелементний внесок кожного із характерних акустичних джерел здійснюється по формулі енергетичного складання РЗТ основних джерел  $L_j$  в точці контролю АШ, що досліджується:

$$L_2(f) = 10 \lg \sum 10^{0,1L_{j0}};$$

$$L_j(f) = L_w - \Delta L_\theta - \Delta L_f - \Delta L_V - \Delta L_{\text{инт}} - \Delta L_{\text{екр}} - 20 \lg R/R_0 - \alpha(R-R_0),$$

де  $L_w$  - РЗТ в частотній смузі  $f$ , приведений до відстані  $R_0$ ;  $\Delta L_\theta$  - поправка на направленість випромінення;  $\Delta L_f$  - спектральна поправка;  $\Delta L_V$  - поправка, що визначається впливом швидкості руху джерела шуму;  $\Delta L_{\text{инт}}$  - поправка, що враховує вплив інтерференції звукових хвиль - "поперечного поглинання" шуму;  $\Delta L_{\text{екр}}$  - поправка, що враховує вплив різноманітних перепон на шляху розповсюдження шуму;  $\alpha$  - коефіцієнт поглинання звуку в атмосферному повітрі. Складові  $L_w$ ,  $\Delta L_\theta$ ,  $\Delta L_f$  визначаються моделями характерних акустичних джерел.

Розрахунок впливу *інтерференції* звукових хвиль на характеристики АШ в точці прийому для окремих частотних смуг здійснюється по формулі:

$$\Delta L_{\text{инт}} = 10 \lg \{ 1 + S^2 |Q|^2 + 2S|Q| |\sin(\alpha_c \Delta R/\lambda) / (\alpha_c \Delta R/\lambda)| \cos[\beta_c \Delta R/\lambda + \delta] \},$$

де  $S = R_1/R_2$ ,  $R_1, R_2$  - відповідно відстані проходження прямої і відбитої звукових хвиль;  $\Delta R = (R_2 - R_1)$ ,  $\alpha_c = \pi(\Delta f/f_1)$ ,  $\Delta f$  - ширина частотної смуги,  $f_1$  - центральна частота смуги,  $\lambda$  - довжина хвилі,  $\beta_c = 2\pi[1 + (\Delta f/f_1)^2/4]^{1/2}$ , для 1/3-октавних смуг  $\alpha_c = 0,725$ ,  $\beta_c = 6,325$ . Значення коефіцієнта відбивання  $Q$  для сферичної хвилі від компактного джерела розраховуються за формулою виду

$$Q = Q_p + (1 - Q_p) * F(p_e),$$

де  $Q_p$  - коефіцієнт відбивання для плоскої хвилі,  $F(p_e)$  - чинник граничних втрат через взаємодію сферичної звукової хвилі з рівною поверхнею, що відбиває:

$$F(p_e) = 1 + ip_e^{1/2} \exp(-p_e) \operatorname{erfc}(-ip_e); \quad p_e = (ikR_2/2)^{1/2} [\beta + \cos\theta].$$

Величини зниження РЗТ шуму перешкодами, які моделюються тонкими екранами, визначаються ефектом *дифракції* і розраховуються за допомогою апроксимацій у вигляді функції від числа Френеля  $N$ :

$$\text{- при } -3 \leq N < 0: \Delta L_{\text{екр}} = 1,1518211 \exp[0,5493061(N+3)] - 1,1468337;$$

$$\text{- при } 0 \leq N \leq 100: \Delta L_{\text{екр}} = 5 + 20 \lg [2(\pi|N|)^{1/2} / \operatorname{th}(2\pi|N|)^{1/2}].$$

Для оцінки *коефіцієнтів поглинання звуку*  $\alpha$  використана емпірична формула у відповідності з рекомендаціями ІКАО. Для оцінки

відповідності акустичної моделі ПС у роботі запропонований критерій у вигляді відносної середньоквадратичної помилки:

$$d_2 = 1 - \frac{\sum (SPL_p - SPL_{0j})^2}{\left[ \sum (|SPL_p - \overline{SPL}_0| + |SPL_{0j} - \overline{SPL}_0|) \right]^2}; \quad \overline{SPL}_0 = \sum SPL_{0j} / 24,$$

де  $SPL_p$ ,  $SPL_{0j}$  - відповідно розраховані та виміряні РЗТ шуму, що досліджується в  $j$ -ій частотній смузі. Чим ближче значення  $d_2$  до 1, тим більше модель відповідає експериментальним спостереженням. В табл. 2 наведені узагальнені результати моделювання спектрів шуму ПС (АД) засобом\*\* поелементного внеску характерних акустичних джерел ПС.

Таблиця 2

Значення критерію відповідності  $d_2$  для досліджених акустичних моделей ВС з ТРДД ( $m$  - ступінь двоконтурності ТРДД)

Етап і режим польоту	ТРД і ТРДД <sub>СМ</sub> ( $1 \leq m \leq 2,3$ )	ТРДД ( $2,4 \leq m \leq 5,6$ )
Зліт	0,88	0,93
Набирання висоти	0,86-0,3	0,84-0,92
Набирання висоти з дроселюванням АД	0,83-0,97	0,85-0,95
Зниження перед посадкою	0,89-0,97	0,84-0,94

При наявності експериментальних даних стендових (для АД) і/або польотних досліджень ПС, існує можливість корекції акустичної моделі ПС. З цією метою сформульована і вирішена задача ідентифікації БАМ типу ПС. РЗТ БАМ ПС  $SPL_p$  визначаються як енергетична сума моделей акустичних джерел  $SPL_{\Sigma}$ , зкоригованих на величину спектральної поправки  $\Delta SPL_n$ :

$$SPL_p = SPL_{\Sigma} + \Delta SPL_n.$$

Визначення значень параметрів амплітудно-частотної характеристики поправки  $\Delta SPL_n$  ( $SPL_{\Sigma}$  і  $SPL_p$  розглядаються як спектри вхідного і вихідного процесів системи) здійснено внаслідок вирішення задачі ідентифікації, алгоритм рішення якої полягає в тому, щоб сума квадратів помилок  $E_{\psi}^2$  для  $N$  спостережень ( $i=1, \dots, N$ ) досягала мінімального значення в результаті ідентифікації:

$$\sum (E_{\psi}^2 = \sum (SPL_{0ij} - SPL_{\Sigma ij} - \Delta SPL_{nij})^2 = \min.$$

Поправка  $\Delta SPL_n$  визначена у вигляді систематичної складової середньоквадратичної похибки  $RMSE_i$  даних вимірів  $SPL_{0i}$  і оцінки  $SPL_{\Sigma i}$ :

$$RMSE_i = \left[ \sum_j (|SPL_{0ij} - SPL_{\Sigma ij}|)^2 / 24 \right]^{1/2};$$

де  $SPL_{O_j}$  - оцінка  $SPL_O$ , що отримана методом найменших квадратів у вигляді регресії  $SPL_O$  від  $SPL_P$ .

Несистематична складова  $RMSE_{ei}$  є мірою точності моделі ( $\sum [E_{ij}^2]$ ):

$$RMSE_{ei} = \left[ \sum_j (|SPL_{O_j} - SPL_O|)^2 / 24 \right]^{1/2}$$

Порівняння результатів оцінки РЗТ АШ по БАМ з моделлю поелементного внеску характерних акустичних джерел ПС показано на прикладі літа.а типу Як-40 для етапу зниження перед посадкою (табл. 3):

Таблиця 3

Порівняння оцінок  $d_j$  для результатів моделювання РЗТ АШ Як-40

Акустична модель ПС	Номери польотів:				
	6	7	8	9	12
Модель поелементного внеску	0,63	0,71	0,52	0,86	0,67
БАМ	0,96	0,87	0,96	0,92	0,94

*Траєкторна акустична модель (ТАМ) ПС* є моделлю 2-го логічного рівня. ТАМ розроблена для вирішення задач з контролю шуму ПС, зокрема для дослідження впливу експлуатаційних чинників на рівні АШ, для оптимізації параметрів траєкторій польоту ПС на околиці точки (зони) контролю шуму. Принципово ТАМ складається з трьох частин.

- *математичної моделі  $r, x, y$  ПС* - у вигляді системи диференціальних рівнянь для оцінки параметрів траєкторій польоту;

- *БАМ ПС* - для визначення спектральних і сумарних РЗТ, рівнів звуку та інших критеріїв АШ в точці під траєкторією польоту;

- *акустичної моделі*, що ґрунтується на концепції радіусу шуму ПС, для визначення контурів і площ контурів АШ.

Розроблені моделі апробовані шляхом порівняння результатів розрахунку з вимірними значеннями параметрів траєкторій і рівнів шуму під траєкторією (табл.4).

Таблиця 4

Рівні шуму  $EPNL$  для точок контролю АШ відповідно до ГОСТ 17228-85

Тип ПС	Набирання висотч, точка контролю шуму № 2		Зниження перед посадкою, точка контролю шуму № 3	
	модель	вимірювання	модель	вимірювання
Ту-154	99.2	100.1±1.2	105.5	106.0±0.9
Ту-154М	98.3	98.4±0.9	100.7	102.1±0.5
Ту-204	97.0	96.0±2.6	102.2	99.9±2.7
Як-40	91.2	90.3±3.9	98.7	97.2±3.8
Як-42	93.8	93.4±0.7	103.7	102.4±1.6
Ил-62М	100.2	102.9±2.5	100	103.5±3.8
Ил-86	107.6	107.4±0.6	105.7	105.1±0.3

Концепція радіусу шуму полягає у тому, що літак, який рухається уздовж траєкторії, становить симетричне щодо траєкторії джерело звуку, навколо якого утворюються циліндричні поверхні рівних рівнів шуму із центр льними всіяма уздовж траєкторії, а їх радіуси і є *радіусами шуму*  $R_n$ . Дана концепція має декілька переваг. При дослідженні поверхонь, обмежених контурами заданих рівнів шуму, їх характеристики розраховуються шляхом вирішення задачі перетину циліндрів із землею поверхнею за допомогою використання простих геометричних залежностей. Наприклад, площа поверхні  $S$ , обмежена контуром шуму (*площа контура шуму*), розраховується за формулою виду:

$$S = \sum_i \Delta S_i \cdot \Delta S_i = \left[ \frac{R_n^2}{\sin \Theta} \arcsin \left( \frac{X \sin \Theta}{R_n} \right) + X \sqrt{R_n^2 - X^2 \sin^2 \Theta} \right]_a^b,$$

де  $X_i, X_j$  - координати закінчення і початку  $k$ -го відрізка траєкторії,  $\Theta$  - кут нахилу траєкторії.

Аналіз одержаних залежностей для радіусу шуму від параметрів траєкторії, показує, що:

- для постійного режиму работ двигуна і заданого ефективного (еквівалентного) рівня АШ виконується співвідношення виду  $R_n V = const$ . Цей результат, отриманий для простої аналітичної моделі випромінення акустичим джерелом, що рухається, підтверджений результатами досліджень для більш складних моделей і для режимів польоту, що спостерігаються напротязі ЗПЦ польоту ПС в районі аеропорту;

- коригування значень рівнів шуму для заданої відстані від зміни швидкості руху ПС дорівнює  $\Delta L_v = 10 \lg(V_0/V)$ , де  $V_0$  - швидкість, для якої визначені радіуси шуму  $R_n$  (у вигляді ШРВ-залежності).

В роботі визначена методика оцінки радіусів шуму для типу ПС на підставі запропонованої моделі і розраховані для типів ПС залежності типу "шум-режим польоту-відстань" (ШРВ-залежності) для використання в моделях оцінки АШ в районі і на околиці аеропортів. Основне співвідношення даної моделі (для критерію шуму  $L$  в точці  $(x, z)$  на місцевості) має вигляд:

$$L(x, z) = L_{ШРВ} + \Delta L_{\rho, l} + \Delta L_{\Theta} + \Delta L_v + \Delta L_t + \Delta L_{екр}$$

де  $L_{ШРВ}$  - значення критерію шуму для відповідної ШРВ-залежності ПС;  $\Delta L_{\rho, l}$  - поправка на "поперечне поглинання" шуму;  $\Delta L_{\Theta}$  - поправка на направленість випромінення шуму ПС;  $\Delta L_v$  - поправка на швидкість руху ПС;  $\Delta L_t$  - поправка на час звучання при виконанні поворотів;  $\Delta L_{екр}$  - поправка на екранування шуму штучними і природним і перешкодами на шляху розповсюдження звукових хвиль. Поправки  $\Delta L_{\rho, l}$ ,  $\Delta L_{\Theta}$ ,  $\Delta L_{екр}$  визначені в дисертаційній роботі за допомогою БАМ для різноманітних

типів ПС і умов розповсюдження шуму. Порівняння результатів розрахунку по попередній моделі (ДерНДІЦА, КІЩА) і по уточненій в даній роботі моделі прив. дені на рис. 1.

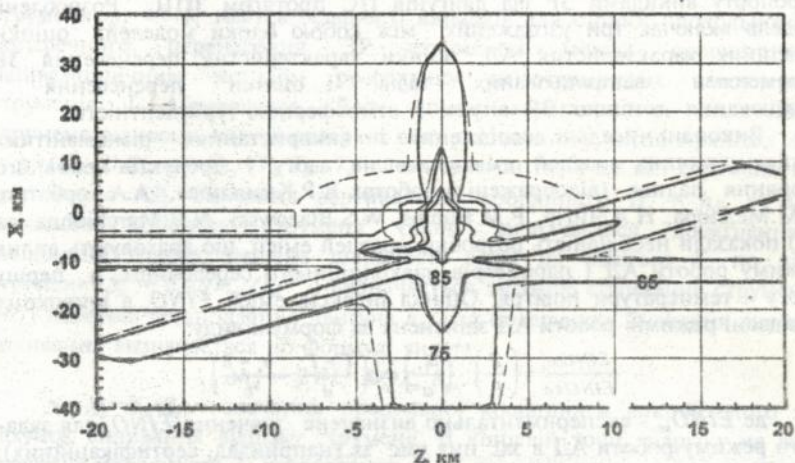


Рис. 1. Контури  $L_{Amax}$  розраховані за попередньою (пунктирна лінія) і розробленою (суцільна лінія) методиками

В табл. 5 наведені результати розрахунку радіусів шуму літака Як-40 на етапах зльоту і посадки, одержаних з використанням розробленої моделі: 1 - результати по БАМ; 2 - результати по моделі поелементного внеску основних джерел шуму; 3 - результати використання залежності з одного із попередніх способів розрахунку шуму на місцевості (ДерНДІЦА, КІЩА). Істотні розходження в результатах спостерігаються при збільшенні відстані (значення радіусу шуму) до точки контролю.

Таблиця 5  
Порівняння радіусів шуму літака Як-40

Радіус шуму, м	Режим зниження на посадку			Режим зльоту		
	1	2	3	1	2	3
100	91.3	93.9	92.3	101.2	97.6	99.8
300	79.0	80.5	80.0	87.2	82.9	81
500	72.4	72.3	73.8	79.0	73.8	81.9
700	67.9	66.0	69.5	73.1	66.6	72.6
1000	62.9	58.1	64.8	66.7	58.7	72.5
1300	59.2	51.9	1.6	62.1	53.4	69.1
1500	57.2	48.5	59.2	59.6	50.7	66.5
2000	53	42.2	55.2	54.5	45.7	62.1
2500	49.8	38.1	51.6	50.3	42.0	58.5

В третьому розділі дисертації приведені результати досліджень і опрацювання моделей забруднення атмосферного повітря в районі аеропорту викидами ЗР від двигунів ПС протягом ЗПЦ. Розроблена модель включає три узгоджених між собою блоки моделей: оцінки емісійних характеристик АД, оцінки характеристик перенесення ЗР струменячи випрацьованих газів і оцінки перенесення і розсіювання домішки ЗР вітром і атмосферною турбулентністю.

Виконані чисельні дослідження з використанням різноманітних напівемпіричних моделей емісії окислів азоту і продуктів неповного згоряння палива (відображені в роботах В.Р.Кузнєцова, А.А.Горбатко, А.М.Меллора, Н.А.Чигір, Р.М.Рубинс, W.S.Blazowski, N.R.Marchionna та ін.) показали необхідність розробки моделей емісії, що враховують вплив режиму роботи АД і параметрів навколишнього середовища, в першу чергу - температури повітря. Оцінка індексів емісії  $EINO_x$  в широкому діапазоні режимів роботи АД здійснена за формули виду:

$$\frac{EINO_x}{EINO_{xe}} = \left(\frac{P}{P_e}\right)^{0.5} \left(\frac{\alpha_r}{\alpha}\right) \exp\left(\frac{T - T_e}{a} - \frac{h_r - h}{b}\right),$$

де  $EINO_{xe}$  - експериментально визначене значення  $EINO_x$  для заданого режиму роботи АД в зад. них умс зх (наприклад, сертифікаційних);  $P$  і  $T$  - тиск і температура на вході в камеру згоряння;  $h$  - вологість повітря на вході в АД;  $\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря;  $a$ ,  $b$  - емпіричні константи, що відрізняються для різноманітних АД, їх узагальнені значення використані в такому вигляді:  $a = 0,001735 + 0,000107\pi_k$ ,  $b = 53,9$ .

Коефіцієнти перерахунку  $K_{Eи}$  індексів емісії для продуктів неповного згоряння визначаються по емпіричній формулі:

$$K_{Eи,сн} = \left(\frac{P'}{P_e}\right)^{1.8} \exp\left(\frac{T - T_e}{300}\right) \left(\frac{T_{ЛМСА}}{T_{ЛТ}}\right)^{0.5}$$

Для швидкостей емісії  $Q_i$  коефіцієнти дорівнюють:

$$K_{Q_i} = K_{Eи} (T_{ЛТ}/T_{ЛМСА})^{1/2}.$$

В табл. 7 наведені розраховані коефіцієнти  $K_{Q_i}$  для швидкостей емісії  $NO_x$ ,  $CH$ ,  $CO$ , усереднені для параметрів експлуатуємих АД:

Таблиця 7  
Залежності коефіцієнтів перерахунку від температури повітря

Температура, град С	-20	-10	0	+10	+20	+30
Коефіцієнт $K_{Q_{NO_x}}$	0,74	0,81	0,88	0,96	1,0	1,11
Коефіцієнт $K_{Q_{COCH}}$	1,3	1,2	1,1	1,04	1,0	1,0

Умови витікання струменя ТГД визначають тип його фізичної моделі і відповідний алгоритм розрахунку параметрів. Процес перенесення домішки ЗР струменем випрацьованих газів ТРД описується теорією турбулентних струменів: затопленого, ступного, зустрічного і струменя в поперечному потоці. Вибір моделі залежить від: напрямку

витікання струменя щодо напрямку вітру, швидкостей витікання струменя, руху ПС і вітру. Для наземних операцій ЗПЦ руху ПС в районі аеропорту характерно мале значення параметра спутності струменя  $m_c \ll 1$ , тому в більшості випадків для оцінки продольного і поперечного перенесення ЗР струменем можна скористатися напівемпіричним методом розрахунку неізотермічних затоплених струменів Г.І.Абрамовича. Для оцінки характеристик спливання струменя відносно земної поверхні використовується число Архімеда  $Ar_o = g d_o (Q_m - 1) / U_o$ , де  $Q_m = T_o / T_A$ ,  $T_o$  - температури газів на вісі струменя на зрізі сопла АД. Значення вертикальної координати  $H = h_{до} + \Delta h_A$  шуканого перетину струменя (який визначається досягненням швидкістю потоку значень швидкості вітру на відстані  $S_a$  по вісі струменя:  $S_a = 6,4 / (m_c / Q_m^{1/2})$ ) визначається висотою спливання струменя  $\Delta h_A$  і висотою встановлення двигуна  $h_{до}$  над поверхнею. Значення висоти спливання визначається по формулі виду:

$$\Delta h_A = 0,013 Ar_o X_a^3 R_o,$$

де  $X_a = X_o / R_o$  - значення продольної координати викривленого за рахунок спливання відрізка струменя. В кінцевій точці відрізка на вісі струменя координата  $X_a$  розраховується по формулі виду:

$$X_a = \{ (1 + 0,156 Ar_o S_a^2)^{1/2} - 1 \} / 0,078 Ar_o \}^{1/2}.$$

Для побудови моделі оцінки характеристик *закрученого струменя за гвинтом* (для ТГД або ГД) - кута розкриття конуса струменя, глибини і ширини його розповсюдження - використані результати теорії турбулентного *закрученого струменя* Л.Г.Лойцянского. Моделі перенесення домішок ЗР струменями апробовані результатами порівняння розрахованих границь струменя із вимірними для натурних струменів АД і шляхом розрахунку та виміру концентрацій ЗР в струменях двигунів натурних ПС в експлуатаційних умовах. Вибірковий коефіцієнт кореляції виміряних і розрахованих значень концентрацій окису вуглецю  $r=0,97$ , при довірчих границях  $0,92 < r < 0,99$  для заданого рівня значимості 5%. Розраховані відстані перенесення домішки ЗР струменями досягають 2000 м для прогнозованих експлуатаційних умов.

По аналогії з результатами досліджень моделей АШ розроблена базова модель забруднення атмосферного повітря - *модель пересушеного джерела викладу*. Максимальне миттєве значення концентрації  $q_{max}$  в точці, що досліджується, утворюється в момент часу  $t_{max}$ :

$$t_{max} = \Delta x / U_o + [ \Delta x K_x / U_o ]^{1/2},$$

де  $\Delta x$  - відстань між точкою, що досліджується і точкою початку процесу атмосферної дифузії з параметрами  $(K_x, K_y, K_z)$  і перенесення домішки ЗР вітром зі швидкістю  $U_o$ .

Вираз для оцінки миттєвого значення концентрації домішки ЗР в точці  $(x, y, z)$  в момент часу  $t$  з урахуванням попереднього розбавлення домішки ЗР струменем відпрацьованих газів з параметрами  $(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}, \sigma_{z0})$  і спливання струменя на висоту  $H$  має вигляд:

$$q(x, y, z, t) = \int_0^{T_{\text{дкс}}} \frac{Q \exp\left[-\frac{(x-x')^2}{2\sigma_{x0}^2 + 4K_x(t+t')} - \frac{(y-y')^2}{2\sigma_{y0}^2 + 4K_y(t+t')}\right]}{\left\{8 \left[\sigma_{x0}^2 + 2K_x(t+t')\right] \left[\sigma_{y0}^2 + 2K_y(t+t')\right]\right\}^{1/2} \cdot \exp\left[-\frac{(z-z'-H)^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4K_z(t+t')} - \frac{(z-z'+H)^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4K_z(t+t')}\right]} \times \left[ \frac{1}{\left[\sigma_{z0}^2 + 2K_z(t+t')\right]^{1/2}} \right] dt'$$

де  $T_{\text{дкс}}$  - час дії джерела викиду ЗР.

Ступінь забруднення атмосферного повітря визначається шляхом порівняння значень концентрацій ЗР з ГДК (максимально-разовими концентраціями), значення яких є ур'ядними на протязі 20-30 хв. Відповідні до них усереднені значення концентрації ЗР визначаються по формулі:  $q_{MP} = q_{max} / K_{30}$ . Коефіцієнт  $K_{30}$  є функцією від часу встановлення в точці максимального миттєвого значення концентрації  $t_{max}$  і від часу експозиції забруднення в точці  $\Delta t_{ef}$  (рис. 2):

$$\Delta t_{ef} = (1 + U_{BC} \cos \psi / U_0) T_{\text{дкс}}$$

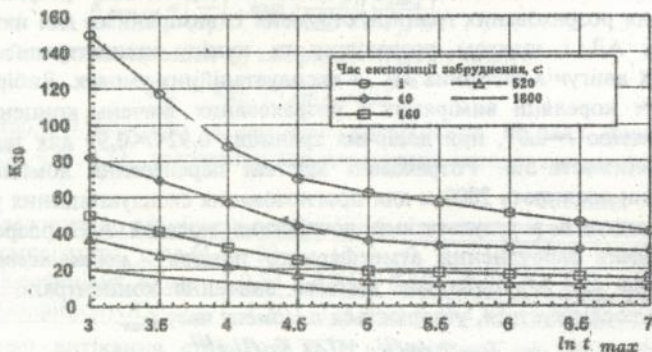


Рис. 2. Залежність  $K_{30}$  від характерних значень часу  $t_{max}$  і  $\Delta t_{ef}$

Апробація моделі здійснена шляхом порівняння результатів оцінки з вимірними значеннями концентрації домішки ЗР на натурному двигуні ПС в експлуатаційних умовах. Більшість вимірних концентра-

цій знаходиться в межах значень, розрахованих з урахуванням коливань напряму і швидкості вітру, які спостерігалися протягом часу вимірювань. Коефіцієнт кореляції для спос. з'ясаємої вибірки дорівнює  $r=0,84$ , при довірчих границях для загальної сукупності 0,  $1 < r < 0,9$  для заданого рівня значимості 5%.

Одержані спрощені вирази для оцінки к-центрації ЗР для конкретних випадків експлуатації ПС. Для випадків, коли швидкість руху ПС дорівнює нулю (спостерігаються паузи), можна використати рішення стаціонарного рівняння дифузії. Якщо характерний час дії атмосферних викирів порівняний з часом перенесення домішки ЗР  $t_{max}$  і з часом знаходження ПС в стаціонарних умовах значення максимальних концентрацій  $q_{max}$ , що розраховуються за допомогою рівняння миттєвого типу, будуть приблизно співпадати з розрахунками по стаціонарній моделі точкового джерела викиду.

$$q_{max} = \frac{Q \exp\left[-\frac{(y-y')^2}{2\sigma_{y0}^2 + 4K_y t_{max}} - \frac{H^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4K_z t_{max}}\right]}{U_n \left( \left[ \sigma_{z0}^2 + 2K_z t_{max} \right] \left[ \sigma_{y0}^2 + 2K_y t_{max} \right] \right)}$$

Іншим характерним варіантом руху ПС є прямолінійні відрізки квазістаціонарного руху, наприклад, при рульній ПС по магістральних РД. В цьому випадку, якщо напрямок вітру не паралельний швидкості руху ПС, можна використати моделі лінійних миттєвих джерел.

$$q_{max} = \frac{Q \exp\left[-\frac{H^2}{2\sigma_{z0}^2 + 4K_z t_{max}}\right]}{U_n \left( \left[ \sigma_{z0}^2 + 2K_z t_{max} \right] \left[ \sigma_{x0}^2 + 2K_x t_{max} \right] \right)}$$

В четвертому розділі з метою визначення характеристик експлуатаційних заходів зниження впливу ПС на 1-воклишне середовище досліджені рішення задач оптимізації: - траєкторій руху ПС із умов зменшення шуму і викидів ЗР; - наземного руху ПС в районі аеродрому із умов зменшення забруднення атмосферного повітря; - розміщення маршрутів руху в районі аеропорту; - розподілу режимів експлуатації літаків на маршруті польоту в районі аеропорту; - режимів експлуатації парку ПС в районі аеропорту; - режимів польоту ПС по маршруту.

В загальному випадку задача оптимізації параметрів траєкторій руху ПС в районі аеропорту із умов зменшення впливу на НПС є багатоцільовою: цілі визначаються зниженням значень критеріїв впливу АШ і викидів ЗР АД, причому для кожного із них можуть розглядатися одночасно декілька критеріїв, наприклад, для АШ - площа контура шуму

і індекс впливу АШ в точці контролю під траєкторією польоту.

Серед критеріїв  $\{K_j\}$  можна виділити пріоритетний критерій  $K_0$  (наприклад, критерій впливу АШ), а критерії, що залишилися, повинні задовольняти обмеженням виду  $K_j \geq K_j^*$ , де  $K_j^*$  - деяка множина контрольних, але не оптимізуємих, показників. Тоді задача оптимізації, що розглядається, являє собою задачу оптимального управління

$$K_j = \int_{t_0}^{t_1} L_j[x(t), u(t)] dt \rightarrow \inf$$

$$\dot{X} = F(X, U), \quad X_0(t_0) = x^0, \quad t \in [t_0, t_1], \quad u(t) \in U, \quad K_j \geq K_j^*.$$

Розроблений алгоритм розрахунку оптимальних траєкторій у вигляді градієнтного методу найшвидшого спуску, реалізований для випадку зльоту і набирання висоти літака, математична модель якого представлена у вигляді системи рівнянь руху у вертикальній площині. Як керуючі параметри використані частота обертання валу компресора високого тиску (КВТ) АД  $n$ , кут тангажа  $\nu$ , кут відхилення закрилків  $\delta_{зак}$ . Обмеження на параметри керування і траєкторії визначені у відповідності з вимогами безпеки польотів на даних етапах.

Для впровадження в рекомендації по експлуатації ПС найбільш характерними особливостями результатів рішення задачі мінімізації АШ в точці контролю під траєкторією є злітання і початкове набирання висоти з максимальною тягою  $T_{max}$  ( $n = n_{max}$ ) і з мінімальною допустимою швидкістю польоту  $v$ , та дроселювання АД до значення тяги  $T_{min}$ , яка забезпечує безпечний кут нахилу траєкторії  $\Theta_{min}$ . Початок етапу дроселювання залежить від типу ПС, його злітної маси, атмосферних умов і знаходиться на відстані 200-1000 метрів перед точкою контролю.

Для максимальних злітних мас літаків і для значень метеопараметрів у відповідності з умовами МСА зниження шуму в контрольній точці № 2 (ГОСТ 17228-85) досягає 8-10 ЕРНдБ для літаків обладнаних ТРД або ТРДД із  $m < 2,5$ , та 3-4 ЕРНдБ для літаків із ТРДД із  $m > 2,5$ .

Аналіз результатів рішення задачі оптимізації параметрів траєкторії набирання висоти з метою мінімізації площі контура шуму показує, що початок етапу дроселювання АД визначається умовами забезпечення безпеки польотів (наприклад, відразу по завершенні вбирання закрилків), а його завершення - координатою  $x_k = (R_{nk} v_k)_{ном} / \sin \Theta_k / v_k$ , де усі параметри траєкторії і радіус шуму визначені на останньому,  $k$ -ому в'їзді оптимізації, в момент переведення АД на номінальний режим роботи. Ефективність реалізації оптимальної процедури набирання висоти визначається кількістю зниження площі, що досліджується, до 80% від вихідного значення (на максимальному режимі роботи АД).

Переважний внесок у загальну масу викидів окислів азоту в районі аеропорту дають етапи зльоту і початкового набирання висоти, тому функціонал при визначенні оптимальних параметрів траєкторії злітання і набирання висоти обраний у вигляді маси викиду  $NO_x$ :

$$M_{NO_x} = \int_{t_0}^{t_1} Q_{NO_x}(t) dt.$$

Значення верхньої межі інтегрування  $t_1$  у наведеному виразі для функціонала визначається моментом досягнення висоти  $H=900$  м, яка відповідає усередненому значенню висоти атмосферного приграничного шару (межі ЗПЦ при сертифікації АД).

Одержані результати рішення задачі показують, що оптимальні значення частоти обертання  $n_{opt}$  перевищують граничні значення  $n_{min}$  і розміщуються всередині області допустимих значень. Тому задача оптимізації викиду  $NO_x$  на етапі набирання висоти може бути сформульована у вигляді варіаційної задачі і її рішення одержано в аналітичному виді. Значення тягоозброєності  $\tau$  для досліджених ПС за оптимального дроселювання двигунів  $n_{opt}$  при набиранні висоти зберігається приблизно однаковим для всіх злітних мас, табл. 8:

Таблиця 8

Результати рішення задачі оптимізації маси викиду  $NO_x$

Тип літака	Ту-154	Ту-134	Ил-62М
Тягоозброєність, г	0,213	0,18	0,185

Результати рішення задачі оптимізації параметрів траєкторії набирання висоти з метою зменшення концентрації ЗР під траєкторією показують, що оптимальні параметри руху літака співпадають з вихідними значеннями задачі: режим роботи АД - максимальний, без прискорення руху літака, які забезпечують швидке збільшення висоти польоту літаку над поверхнею землі.

Алгоритм рішення багатокритеріальної задачі оптимізації параметрів траєкторії набирання висоти заснований на методі аналізу множини Парето. Для визначення множини ефективних точок використаний метод зондування простору керуючих параметрів польоту  $U = \{u_{kmax}, u_{kmin}\}$ :

$$u_{kl} = u_{kmin} + q_{kl}(u_{kmax} - u_{kmin})$$

де  $q_{kl}$  - коефіцієнти зондування,  $l$  - номер іспиту.

Крива, що з'єднує точки множини Парето, є компромісною кривою для критеріїв  $S$  і  $M_{acc} = \sum c_i M_i$ , одна із точок якої і визначає оптимальну траєкторію набирання висоти. Якщо розглянути різницю значень функціонала виду  $\Delta M_{acc} = M_{accSmin} - M_{accmin}$ , де  $M_{accSmin}$  - значення

еквівалентної маси, що утворюється на траєкторії, яка забезпечує мінімальне значення площі  $S$ , то  $\Delta M_{екв}$  складає не більше 5% від величини  $M_{екв-ог}$ . Тому траєкторію, що забезпечує мінімальне значення площі контура рівного шуму, можна обгрунтовано вважати квазіоптимальною при набиранні висоти літака.

Для рішення задачі оптимізації параметрів траєкторії зниження і заходження на посадку ПС з метою зменшення АШ і викидів ЗВ використаний метод зондування області допустимих значень параметрів керування  $U$ , які визначено виходячи з вимог безпеки польотів. Площу контура шуму  $S$  при зниженні літака по глісаді визначається за формулою:

$$S = 0,5\pi R_n^2 / \sin|\Theta|.$$

Збільшення кута нахилу глісиди  $|\Theta|$  до величини  $6^\circ$  у порівнянні з польотом літака по глісаді з кутом  $2,7^\circ$  забезпечує зниження критеріїв, що досліджуються: площі контура рівного рівня шуму 90EPНдБ - до 80%, еквівалентної маси викиду ЗВ - від 30 до 75% (залежно від типу літака), рівня шуму в контрол-ній точці - від 6 EPНдБ для літака з чотирма АД і до 13 EPНдБ для літака з двома АД, витрати палива на відрізьку глісиди - на 65-80%. Результати приведені для умов МСА.

Проведені дослідження ефективності використання двопроменевої глісиди зниження літака перед посадкою: зовнішній відрізок глісиди (2), що досліджується, має максимальний кут величиною  $-6^\circ$ , а внутрішній (1) - стандартне значення кута  $-2,7^\circ$ . Ефективність використання двопроменевої глісиди зменшується в порівнянні з однопроменевою з кутом  $-6^\circ$  і залежить від значення висоти переходу зовнішнього відрізьку глісиди у внутрішній  $H_u$ . Аналітична залежність для площі контура шуму  $S$  від  $H_u$  має вигляд:

$$S = H_u \left( \operatorname{ctg}\Theta_1 \sqrt{R_1^2 - H_u^2 \cos^2 \Theta_1} - \operatorname{ctg}\Theta_2 \sqrt{R_2^2 - H_u^2 \cos^2 \Theta_2} \right) + \\ + \frac{R_1^2}{\sin \Theta_1} \arcsin \frac{H_u \cos \Theta_1}{R_1} - \frac{R_2^2}{\sin \Theta_2} \arcsin \frac{H_u \cos \Theta_2}{R_2}.$$

Визначення висоти  $H_u$  здійснюється виходячи з умов забезпечення стаціонарного польоту літака на висотах нижче 120 м при зниженні перед посадкою. Площа контура шуму  $S_{90}$  збільшується у три рази у порівнянні зі значенням для однопроменевої глісиди  $-6^\circ$ .

В роботі досліджена задача визначення оптимального значення режиму роботи АД протягом польоту по глісаді із гальмуванням швидкості польоту. Величина гальмування швидкості визначається значенням тяги двигунів, зменшеної у порівнянні з необхідним значенням тяги в умовах стаціонарного зниження літака. Ефективність від виконання

оптимальної процедури гальмування швидкості польоту при зниженні по глісаді визначається значеннями зменшення площі контура шуму на 10-25% (залежно від типу літака і його посадкової маси). Оптимальні способи пілотування ПС при зниженні перед посадкою забезпечують одночасно мінімальні значення критеріїв шуму і забруднення повітря.

Розроблений спосіб рішення задачі визначення найбільш імовірного розподілу режимів виконання польотів для парку ПС в умовах існуючої схеми маршрутів польотів і забудови, що склалася, з розподіленими точками контролю шуму. Алгоритм розрахунку найбільш імовірного розподілу ПС  $N_{ij}$  по маршрутах руху з урахуванням реалізації методик пілотування побудований на рішенні системи рівнянь виду:

$$N_{ij} = V_{ij} A_i C_j B_i T_i \exp\left(-\sum_k \beta_k P_{ij}^{(k)}\right).$$

Лагранжیان  $\beta$  залежить від різниці між значеннями рівня обмеження шуму в контрольній точці і реальним значенням рівня шуму для вихідної ситуації розподілу ПС. Дана різниця визначається впливом експлуатаційних умов на рівні шуму ПС, тому результати рішення задачі залежать від експлуатаційних умов. Отримані результати доводять, що розроблені засоби можуть бути ефективними для забезпечення оперативного управління режимами польоту ПС в районі аеропорту.

На підставі результатів проведених досліджень і аналізу режимів роботи двигунів ПС при рулінні визначені маси викиду ЗР і витрати палива для різноманітних варіантів руління ПС. Використання зменшеної кількості працюючих АД обумовлює зниження продуктів неповного згоряння. Визначена величина ефективного часу руління:  $\Delta t_{рул\ еф} = \Delta M / \Delta Q$ , де  $\Delta M$  - збільшення маси викиду ЗР на етапах запуску і прогрівання двигунів,  $\Delta Q$  - величина зменшення виробності викиду ЗР за час руління на зменшеній кількості працюючих двигунів. Якщо час руління літака  $\Delta t_{рул}$  в аеропорті, що досліджується, перевищує значення  $\Delta t_{рул\ еф}$ , тоді виконання перед злітанням руління на зменшеній кількості працюючих двигунів буде ефективним.

Результати оптимізації параметрів польоту ПС на маршруті заданої відстані для функціонала  $M_{NOx}$  відрізняються від оптимальних режимів, визначених для основних експлуатаційних показників, - витрат палива та прямих експлуатаційних витрат. Ефект зниження викидів  $M_{NOx}$  прогнозується в незначних розмірах при порівнянні з викидами на оптимальних експлуатаційних режимах польоту - на  $\sim 5\%$  відповідного значення.

У п'ятому розділі приведені результати дослідження впливу експлуатаційних чинників на рівні несприятливого впливу об'єктів ЦА на НПС,

виконані з використанням розроблених моделей і обчислювальних комплексів. Метою досліджень є аналіз причин змінення критеріїв впливу АШ і викидів ЗР, а також визначення несприятливих умов утворення максимальних рівнів АШ і забруднення атмосферного повітря.

Зменшення маси літаків при набиранні висоти у порівнянні з максимальною масою обумовлює зменшення рівнів шуму  $EPNL$  в точці контролю до 6  $EPNdB$  для літаків із ТРДД із  $m < 2,5$ , і до 4  $EPNdB$  - для літаків із ТРДД із  $m > 2,5$ . Площа контура шуму  $S_{90}$  зменшується на 15-30% і максимальні значення відповідають ПС, обладнаних ТРДД з  $m < 2,5$ . Дані результати одержані для умов МСА. Заходження на посадку літака з максимальною посадковою масою у порівнянні з звичайною, що приблизно на 20-25% нижча від максимальної, призводить до збільшення площі контура рівного шуму  $S_{90}$  на 45-60%, рівнів шуму в контрольній точці на 4-6  $EPNdB$ , збільшення викиду еквівалентної маси  $M_{екв}$  на 15-25%.

Вплив метеопараметрів здійснюється у трьох напрямках: змінення параметрів АД і відповідно - змінення характеристик емісії і випромінювання шуму; змінення параметрів траєкторії польоту літака; змінення параметрів поглинання звуку і розсіювання ЗР в атмосферному повітрі. Для інтервалу температур атмосферного повітря від  $-20$  до  $+30^{\circ}C$  відповідні змінення рівнів шуму  $EPNL$  в точці контролю під траєкторією набирання висоти знаходяться в межах 8-14  $EPNdB$ , а змінення площі контура шуму  $S_{90}$  складають 20-30% щодо площі, яка утворюється при умовах МСА. При зміні температури повітря у діапазоні від  $-20$  до  $+30^{\circ}C$  зменшується припустимий ступінь дроселювання АД при набиранні висоти ПС і відповідно зменшується його ефективність. Для сучасних типів ПС в приведеному діапазоні температур припустимі режими АД змінюються від 0,4 номінального (при  $-10^{\circ}C$ ) до номінального (при  $+30^{\circ}C$ ). Тим чином, за високих температур ефективність дроселювання знижується від 50% до 15%.

Найбільш несприятливі умови для забруднення атмосферного повітря викидами ЗР від АД визначені при наявності дуже слабкої інтенсивності турбулентності атмосфери: на висоті 1000-1500 м від ПС концентрація забруднення прогнозується на 20-30% вищою ніж за слабкої інтенсивності (рис. 3).

У шостом розділі дисертації приведені результати дослідження і опрацювання рекомендацій забезпечення заходів збалансованного підходу до вирішення проблеми охорони НПС в ЦА.

На підставі розроблених моделей впливу зовнішніх чинників на розповсюдження звуку і моделей джерел АШ проведено

дослідження ефективності акустичних екранів (АЕ). Виконаний аналіз впливу висоти, ширини і товщини АЕ, характеристик розповсюдження звукових хвиль до і після АЕ з рахуванням відбивання звукових хвиль від підстеляючих поверхонь, специфіки авіаційних джерел звуку, а також умов розподілу температури повітря і швидкості вітру в приземному шарі на околиці АЕ. За однакових геометричних характеристик конструкції і розміщення АЕ щодо джерела і приймача звуку тип джерела шуму впливає на показники ефективності АЕ в межах 1,5-3,0 дБА, а облік імпедансних характеристик відбивання звукових хвиль від підстеляючих поверхонь до і після АЕ - в межах 1-2 дБА. Ефект змінення температури з висотою для висот АЕ  $h < 20$  м не виявляється, тому в інженерних розрахунках ним можна запобігти. Розроблений алгоритм вибору геометричних параметрів АЕ і типу підстеляючих поверхонь виходячи з вимог до ефективності АЕ.

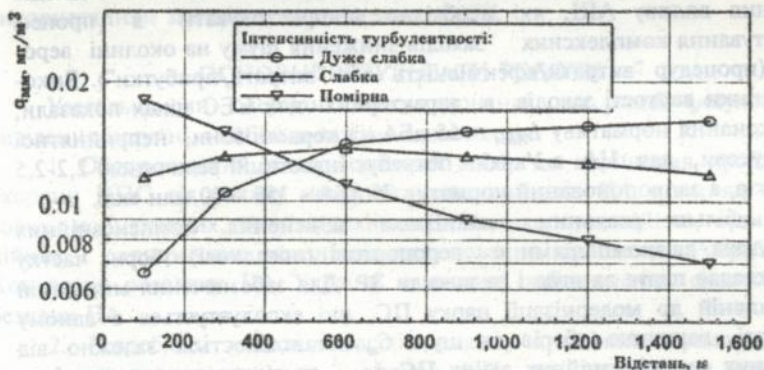


Рис. 3. Вплив інтенсивності турбулентності на рівні забруднення

Результати проведених досліджень дозволили обґрунтувати структуру, зміст і етапність здійснення адміністративних заходів ОНПС в ЦА - екологічної експертизи, санітарно-захисного зонування (СЗЗ) і зонування обмеження забудови (ЗОЗ), в основу яких покладені обчислювальні засоби оцінок впливу несприятливих чинників ЦА, розроблені на основі запропонованих моделей з результатів дослідження несприятливих умов впливу чинників на НПС. Аналіз результатів виконаних досліджень дозволив обґрунтувати необхідність введення нових екологічних нормативів впливу АШ і положення по ЗОЗ на околицях аеропортів із умов АШ, табл. 8. Обґрунтована система визначення сумісності виду забудови з умовами впливу АШ в межах

ЗОЗ введенням п'яти категорій житлової, громадсько-адміністративної і господарської забудови та встановлена шкала сумісності, що визначає заборону на будівництво чи значення додаткової звукоізоляції будівель, умови і вимоги здійснення заходів по зниженню впливу АШ.

Таблиця 8

Нормативні значення критеріїв оцінки АШ на границях ЗОЗ, дБА

Вид ЗОЗ	Денний період доби		Нічний період доби	
	$L_{Ажв}$	$L_{Аmax}$	$L_{Ажв}$	$L_{Аmax}$
Зона, непридатна до забудови	$\geq 75$	$\geq 90$	$\geq 65$	$\geq 80$
Зона захисту від шуму	$< 75$	$< 90$	$< 65$	$< 80$
	$\geq 65$	$\geq 80$	$\geq 55$	$\geq 70$
Зона обмеження житлової забудови	$< 65$	$< 80$	$< 55$	$< 70$
	$\geq 55$	$\geq 70$	$\geq 45$	$\geq 60$

Визначені питомі значення вартості реалізації основних заходів зниження впливу АШ, які необхідно використовувати в процесі обґрунтування комплексних заходів зниження шуму на околиці аеропорту (процедур "витрати/ефективність" або "витрати/прибутки"). Виконані оцінки вартості заходів в характерних для ЄЕС цінах показали, що виконання нормативу  $L_{Ажв} = 65$  дБА на кордоні зони, неприйнятної до забудови, для ЦА в Україні потребує інвестицій величиною 2,2-2,5 млрд єкю, а запропонований норматив 75 дБА - 350-400 млн єкю.

Найбільш реальним механізмом здійснення компенсаційних розрахунків авіакомпаніями є аеропортові (посадкові) збори, частку яких складає плата за шум і за викиди ЗР. Для забезпечення мотивацій авіакомпаній до модернізації парку ПС, що експлуатується в даному аеропорті, величина зборів за шум  $C_{ш}$  встановлюється залежно від фактичних сертифікаційних даних ПС  $L_{факт}$  та відповідних вимог  $L_{норм}$ . Додатку 16 ІКАО:

$$C_{ш} = 0,5 k G^{(1 + \alpha A)}, A = 10^{0,1(L_{норм} - L_{факт})}$$

Для визначення величини зборів за викиди ЗР в роботі обґрунтовані чотири групи ПС, для яких встановлені розміри плати за здійснення одного ЗПЦ в районі аеропорту: від 2,2 грн для 1-ої групи до 0,2 грн для 4-ої групи ПС.

Для обґрунтування і опрацювання принципів здійснення моніторингу несприятливих чинників впливу об'єктів ЦА на НПС сформульований ряд завдань, результати рішення яких впливають на структуру систем, що опрацьовуються, засоби, що реалізуються в них. Розроблена концептуальна модель процесів спостереження, аналізу і оцінки чинників - АЛІ і забруднення атмосферного повітря викидами ЗР

в районі аеропорту, які включають аналітичні і емпіричні результати досліджень утворення, розповсюдження і впливу перелічених чинників. На їх основі розроблені концепція і технічне завдання на опрацювання системи контролю шуму від ПС на околицях аеропортів ЦА і інформаційної системи моніторингу чинників шкідливого впливу об'єктів ЦА на НПС.

Доведена можливість визначення сертифікаційних даних по шуму ПС з використанням ШРВ-залежностей (радіусів шуму), що дозволяє їх використовувати для доказу відповідності модифікованих типів ПС по шуму еквівалентними методами. Обґрунтований єдиний підхід до ідентифікації БАМ типу ПС і оцінки його ШРВ-залежностей як для цілей сертифікації ПС по шуму, так і для оцінки впливу АШ в експлуатаційних умовах. В такій постановці акустична модель ПС дозволяє здійснювати супровід ПС від етапу сертифікації по шуму до його впровадження в експлуатацію і під час експлуатації, в тому числі з використанням заходів зниження впливу АШ.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Узагальнюючи одержані при виконанні дисертації результати, виділені наступні, найбільш важливі положення:

1. Обґрунтований збалансований підхід до вирішення проблеми охорони НПС від впливу несприятливих чинників ЦА у вигляді правових, нормативних, техніко-технологічних, експлуатаційних, організаційних і економічних механізмів регулювання проблеми. Розроблена Концепція розвитку ЦА України в частині забезпечення екологічної безпеки ЦА.

2. Розроблені моделі і засоби аналізу і оцінки характеристик утворення, розповсюдження і впливу АШ, що враховують характеристики ПС і різноманітних експлуатаційних чинників, на підставі результатів дослідження аналітичних і напівемпіричних моделей акустичних джерел і характеристик розповсюдження з укових хвиль навколишньому середовищі. Точність і надійність моделей і засобів зумовлені і обґрунтовані результатами рішення задачі ідентифікації акустичної моделі типу ПС.

3. Розроблені моделі і засоби аналізу і оцінки характеристик утворення і розповсюдження викидів ЗР від двигунів ПС, що враховують вплив характеристик АД і різноманітних експлуатаційних чинників на підставі результатів дослідження аналітичних і напівемпіричних моделей утворення ЗР в камерах згоряння АД, моделей турбулентних струменів вихлопних газів, моделей перенесення і розсіювання домішок ЗР в

приземному шарі атмосфери. Точність та надійність моделей і засобів обґрунтовані результатами зіставлення розрахованих і вимірних концентрацій ЗР в струменях АД і в атмосферному повітрі на околиці джерел викиду.

4. Сформульований комплекс задач оптимізації параметрів експлуатації типів ПС ЦА на маршрутах руху, в районі і на околиці аеропортів, розміщення аеропортів і окремих його об'єктів з метою зменшення несприятливого впливу на НПС і обґрунтовані засоби їх рішення. Одержані рішення задач досліджені з урахуванням впливу різноманітних експлуатаційних чинників і використані при опрацюванні рекомендацій до засобів зниження несприятливого впливу АШ і викидів ЗР на локальному і глобальному рівнях вирішення проблеми.

5. Досліджені і обґрунтовані вимоги, структура і задачі моніторингу - інформаційної системи спостереження, оцінки, аналізу і прогнозування впливу несприятливих чинників ЦА на НПС. Актуальність системи моніторингу ЦА-НПС обумовлена складною залежністю чинників, що досліджуються, від технічних і експлуатаційних характеристик джерел впливу, реалізованих експлуатаційних заходів, умов НПС на околиці аеропортів ЦА.

6. Розроблені моделі і алгоритми впливу різноманітних атмосферних і топографічних умов розповсюдження АШ на величину його поглинання, які досліджені з метою аналізу і оцінки ефективності екранів для зниження шуму в аеропортах ЦА з урахуванням специфіки джерел АШ, геометричних характеристики екранів, стану і виду пошкоджень відбивання звукових хвиль. Обґрунтований алгоритм вибору параметрів екранів виходячи з вимог до його ефективності.

7. Розроблені структури, зміст і етапність здійснення адміністративних і економічних заходів охорони НПС на підприємствах ЦА - ОВОС, ЗОЗ і СЗЗ, плати за забруднення і компенсації збитків, в основу яких покладені обчислювальні засоби оцінок впливу несприятливих чинників ЦА. Розроблені проекти нормативних документів здійснення адміністративних і економічних заходів охорони НПС в ЦА.

**Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:**

1. Токарев В.И., Запорожец А.И., Страхолец В.А. Снижение шума при эксплуатации г. пассажирских самолетов. - Киев: Техника, 1990. - 127 с.
2. Мельников Б.Н., Токарев В.И., Запорожец А.И., Тарасенко А.В., Кулагин Ю.Н. Руководство по расчету факторов неблагоприятного воздействия ВС ГА на окружающую среду. - М.: ГосНИИГА, 1986. - 224 с.
3. Tokarev V.I., Zaporozhets O.I., Shylo V.F. The decision-making system for noise control in the vicinity of the airport. // *ACUSTICA/Acta Acustica*.

*Proceedings of 1-st Forum Acusticum*, vol. 82, 1996. - P. 169.

4. Zaporozhets O.I., Tokarev V.I., Shylo V.F., Attenborough K., Li K. M. Influence of propagation path characteristics on aviation noise // *Inter-Noise'97: Proceedings of Int. Conference on Noise Control*, Budapest, 1997. - P. 319-324.

5. Romanenko V., Akimenko V., Zaporozhets O.I., Tokarev V., Sadowski J., Chyla A., Szudrowicz. The zoning of noise impact and land use around the airports in Ukraine and Poland // *Inter-Noise'97: Proceedings of Int. Conference on Noise Control*, Budapest, 1997. - P. 871-874.

6. Zaporozhets O.I., Romanenko V.I., Akimenko V.Ya. Proposals for the national legislation and regulation for transport noise protection // *Environmental Impact Assessment: Proceedings of 3-d Int. Conference*, Prague, 1996. - P. 502-506.

7. Zaporozhets O.I., Tokarev V.I. New complex model and method for aircraft noise impact assessment around the airports // *Environmental Impact Assessment: Proceedings of 3-d Int. Conference*, Prague, 1996. - P. 638-641.

8. Zaporozhets O.I. The problem of identification of the aircraft acoustic model // *Transport Noise and Vibration: Proceedings of the 12-th Int. FASE Symp.*, St.Petersburg, 1996. - P. 113-118.

9. Zaporozhets O.I., Tokarev V.I., Shylo V.F. Influence of impedance characteristics of the reflecting surfaces on reduction of aviation noise by screens // *Proceedings of 4-th Int. Congress on Sound and Vibration*, St.Petersburg, vol. 2, 1996. - P. 1135-1140.

10. Tokarev V.I., Zaporozhets O.I. The reduction of acoustic pollution in the vicinity of the airport as the task of parametric optimization for airplane fleet operation // *Proceedings of 4-th Int. Congress on Sound and Vibration*, St.Petersburg, vol. 3, 1996. - P. 1751-1756.

11. Romanenko V., Akimenko V., Zaporozhets O., Tokarev V. The legislative basis and nowadays practice in Ukraine for zoning and land-use around the airports in accordance to noise impact // *Building and Environment Protection in Eastern Europe: Int. Research Workshop*, Warsaw, ITG, CIB TG-8, 1996. - P. 135-142.

12. Tokarev V.I., Zaporozhets O.I. Design of software for aviation noise monitoring system // *Noise-93: Proceedings of Int. Noise and Vibration Control Conference*. - St.Petersburg, 1993. - P.177-179.

13. Tokarev V.I., Zaporozhets O.I. The estimation of effectiveness of methods for reduction of interior and outdoor aircraft noise // *Transport Noise and Vibration: Proceedings of the 12-th Int. FASE Symposium*. - St.Petersburg, 1996. - P. 107-112.

14. Запорожец А.И. Моделирование характеристик выбросов вредных

- веществ самолетами ГА в окрестности аэропорта // Прикладная аэродинамика: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1980. - С. 86-90.
15. Запорожец А.И. Выбросы вредных веществ самолетами ГА как фактор неблагоприятного воздействия на окружающую среду // Безопасность полета в условиях опасных внешних воздействий: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1981. - С.75-80.
16. Запорожец А.И. Оптимизация характеристик выбросов вредных веществ при наборе высоты самолетов // Некоторые вопросы аэродинамики и динамики полета: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1981. - С.114-118.
17. Запорожец А.И. Определение наиболее выгодных приемов пилотирования самолетов в районе аэропорта с целью уменьшения их неблагоприятного воздействия на окружающую среду // Средства и методы снижения неблагоприятного воздействия авиации на окружающую среду при авиационных процессах: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1985. - С.17-27.
18. Запорожец А.И. Расчет уровней загрязнения в районе аэропорта при эксплуатации авиатранспорта // Оптимизация систем охраны труда в ГА: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1985. - С. 36-42.
19. Запорожец А.И. Оценка предварительного рассеивания выбросов загрязняющих веществ струями реактивных двигателей // Проблемы охраны труда и окружающей среды при интенсификации производства ГА: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1986. - С. 42-51.
20. Запорожец А.И. Некоторые результаты исследования влияния параметров истечения струи отработавших газов авиационных ГТД на загрязнение атмосферного воздуха // Системы безопасности труда в технологических процессах ГА: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1988. - С. 38-43.
21. Запорожец А.И. Результаты исследования неблагоприятных условий загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ от авиационных двигателей // Проблемы охраны труда и окружающей среды в производственных процессах ГА: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1989. - С. 13-17.
22. Запорожец А.И. Оценка параметров полета самолета по акустическим параметрам при возникновении особых случаев полета и исследовании авиационных происшествий // Обеспечение безопасности полетов в особых случаях полета: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1986. - С. 34-39.
23. Запорожец А.И. Формирование требований к предельно-допустимым выбросам загрязняющих веществ для аэропорта ГА // Проблемы охраны труда в ГА: Сб. науч. тр. - Киев: КИИГА, 1982. - С. 58-61.
24. Запорожец А.И. Влияние требований безопасности полета на результаты оптимизации параметров взлета с целью уменьшения неблагоприятного воздействия шума и выбросов загрязняющих веществ //

Моделирование в обеспечении безопасности полетов: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1987. - С.102-108.

25. Запорожец А.И. Влияние требований безопасности полетов и метеофакторов на эффективность эксплуатационных методов снижения неблагоприятного воздействия самолетов на окружающую среду // Обеспечение безопасности полетов при летной эксплуатации ВС: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1993. - С. 40-44.

26. Романенко В.І., Акіменко В.Я., Запорожець О.І. Захист від шуму в сучасному процесі планування та життєдіяльності міста // Урбанізоване навколишнє середовище: охорона природи та здоров'я людини: Зб. наук. пр. - К.: Нац. екоцентр України, Ради Європи, 1996. - С. 11-16.

27. Акіменко В.Я., Романенко В.Н., Черня Ж.И., Запорожец А.И. К вопросу критериальной оценки АШ // Актуальные вопросы гигиены окружающей среды: Сб. науч. тр. - К.: НИИОКТ им. Марзеева, вып. 1, 1995. - С. 105-109.

28. Токарев В.И., Воротынец В.М., Запорожец А.И. Структура системы мониторинга авиационного шума в окрестности аэропорта // Проблемы акустической экологии: Сб. науч. тр. - Л.: Стройиздат, 1990. - С.54-59.

29. Токарев В.И., Запорожец А.И. Математические принципы моделирования процесса загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ при эксплуатации ВС // Состояние и перспективы работ по охране ОС в ГА: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, 1987.-с. 53-60.

30. Запорожец А.И., Страхолес В.В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ от турбовинтовых авиадвигателей // Средства управления охраной труда и окружающей среды на предприятиях ГА: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1993. - С. 59-62.

31. Карпин Б.Н., Запорожец А.И., Воротынец В.М. Постановка задачи описания ВС как источника загрязнения атмосферы // Проблемы защиты окружающей среды от воздействия ГА: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, вып. 197, 1981. - С.14-21.

32. Смелянская Д.И., Токарев В.И., Запорожец А.И. Оценка выбросов загрязняющих веществ самолетами ГА в районе аэропортов // Гигиена и санитария, N 51, 1985. - С. 19-21.

33. Ермилов А.С., Кулагин Ю.Н., Запорожец А.И. Оценка загрязнения воздушной среды при авиатранспортных процессах // Эксплуатация авиационных силовых установок и горюче-смазочных материалов: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, вып. 226, 1984. - С.110-122.

34. Запорожец А.И., Страхолес В.В. Исследование влияния эксплуатационных и метеорологических параметров на загрязнение воздуха резервуарами горючесмазочных материалов // Вопросы охраны труда и

- окружающей среды в процессах технического обслуживания и ремонта авиационной техники: Сб. науч. тр. - К.: КИИГА, 1993. - С. 76-79.
35. Карлин Б.Н., Воротынцев В.М., Токарев В.И., Мельников Б.Н., Запорожец А.И. Моделирование характеристик выбросов вредных веществ самолетами ГА в окрестности аэропорта // Проблемы эксплуатации авиационных двигателей, их систем и защита окружающей среды: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, вып. 181, 1979. - С. 141-148.
36. Мельников Б.Н., Запорожец А.И. Исследование оптимальных по шуму и вредным выбросам режимов снижения самолета на посадку // Исследования, испытания и надежность авиационных двигателей: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, вып. 236, 1985. - С. 66-74.
37. Запорожец А.И., Воротынцев В.М., Токарев В.И. Результаты анализа характеристик записи звуковой информации на борту самолета // Предотвращение авиационных происшествий в ГА: Сб. науч. тр. - Киев: КИИГА, 1988, с. 85-88.
38. Кулагин Ю.Н., Дремлюгин В.И., Запорожец А.И. Методы контроля загрязнения воздушной среды в окрестности аэропорта // Состояние и перспективы работ по охране ОС в ГА: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, 1987. - С. 61-66.
39. Запорожец А.И., Воротынцев В.М., Токарев В.И., Карпин Б.Н. Модели загрязнения атмосферы при эксплуатации самолетов ГА в районе аэропорта // Состояние и перспективы работ по охране ОС в ГА: Сб. науч. тр. - М.: ГосНИИГА, 1982. - С. 80-86.
40. Токарев В.И., Запорожец А.И. Влияние метеофакторов на эффективность эксплуатационных методов снижения шума самолетов // Док. X-ой НТК по аэроакустике, М.: ЦАГИ, 1992. - С. 110-113.
41. Запорожец А.И. Анализ математического и программного обеспечения акустического мониторинга аэропортов ГА // Док. X-ой НТК по аэроакустике. - М.: ЦАГИ, 1992. - С. 114-116.
42. Запорожец А.И., Токарев В.И. Методика определения радиусов шума самолетов // Док. X-ой НТК по аэроакустике. - М.: ЦАГИ, 1992. - С. 117-119.
43. Токарев В.И., Запорожец А.И. Метод акустической идентификации авиационных источников шума // Док. XI Всесоюз. акустической конф., Москва, 1990. - С. 91-93.
44. Токарев В.И., Запорожец А.И. Системный подход в задачах снижения авиационного шума // Док. XI Всесоюз. акустической конф., Москва, 1990. - С. 94-96.
45. Запорожец А.И. Збалансований підхід - основа концепції розвитку цивільної авіації України при регулюванні її впливу на навколишнє природне середовище // Обеспечение безопасности полетов в новых эконо-

- мических условиях: Материалы МНТК. - К.: КМУГА, 1997. - С. 311-314.
46. Запорожец А.И. Разработка экономических механизмов регулирования состояния окружающей природной среды при авиатранспортных процессах // Обеспечение безопасности полетов в новых экономических условиях: Материалы МНТК. - К.: КМУГА, 1997. - С. 330-333.
47. Запорожец А.И. Комплексная модель загрязнения воздуха выбросами вредных веществ от авиационных двигателей в районе аэропорта // Проблемы транспорта та шляхи їх вирішення: Матеріали МНТК. - К.: УТУ, 1997. - С. 70-71.

Запорожець О. І. Розробка моделей і методів інформаційного забезпечення охорони навколишнього середовища від впливу цивільної авіації. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.14 - Експлуатація повітряного транспорту. - Київський міжнародний університет цивільної авіації, Київ, 1997.

В дисертації обґрунтований збалансований підхід до вирішення проблеми зниження несприятливого впливу цивільної авіації (ЦА) на навколишнє природне середовище (НПС). Досліджені джерела, чинники, локальні і глобальні наслідки несприятливого впливу на НПС. Досліджені і опрацьовані моделі та засоби оцінки характеристик утворення, розповсюдження і впливу авіаційного шуму та викидів забруднюючих речовин від двигунів повітряних суден (ПС) в атмосферному повітрі. Вирішені задачі оптимізації режимів експлуатації ПС із умов зменшення впливу несприятливих чинників на НПС. На їх основі обґрунтована ефективність експлуатаційних, адміністративних і економічних заходів зниження впливу чинників з урахуванням аналізу витрат на їх реалізацію, що необхідні для підтримки прийняття рішення в процесі управління як на рівні галузі ЦА у цілому, так і на рівні окремого авіапідприємства.

Ключові слова: цивільна авіація, охорона навколишнього середовища, авіаційний шум, забруднення повітря, оптимізація режимів експлуатації.

Запорожец А. И. Разработка моделей и методов информационного обеспечения охраны окружающей среды от воздействия гражданской авиации. - Рукопис.

Дисертація на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.14 - Эксплуатация воздушного транспорта.

- Киевский международный университет гражданской авиации, Киев, 1997.

В диссертации обоснован сбалансированный подход к решению проблемы снижения уровней неблагоприятного воздействия гражданской авиации (ГА) на окружающую природную среду (ОПС). Исследованы источники, факторы, локальные и глобальные последствия неблагоприятного воздействия на ОПС. Разработаны и исследованы модели и методы оценки характеристик образования, распространения и воздействия авиационного шума и выбросов загрязняющих веществ от двигателей воздушных судов (ВС) в атмосферном воздухе. Решены задачи оптимизации режимов эксплуатации ВС из условий уменьшения воздействия неблагоприятных факторов на ОПС. На их и экономических мероприятий снижения воздействия факторов с учетом анализа затрат на их реализацию, необходимые для поддержания принятого решения в процессе управления как на уровне отрасли ГА в целом, так и на уровне отдельного авиапредприятия.

Ключевые слова: гражданская авиация, охрана окружающей среды, авиационный шум, загрязнение воздуха, оптимизация режимов эксплуатации.

Zarozhets O. I. Development of models and methods of information provision for environment protection from civil aviation impact. - Manuscript.

Thesis for a doctor's degree by speciality 05.22.14 - Operation of the air transport. - Kyiv international university of civil aviation, Kyiv, 1997.

The balanced approach to decision of a problem of environment protection from civil aviation impact is grounded in dissertation. Sources, factors, local and global consequences of adverse influence are investigated. Models and methods of formation, propagation and influence of aircraft noise and engine emissions in atmosphere are developed and investigated. Optimization tasks for aircraft operation modes are resolved for criteria of adverse factors influence reduction. On their basis efficiency of operational, administrative and economic measures of environment protection are grounded in view of expense analysis on their realization. Necessary instruments for decision support are developed for realization of management in environment protection field as at level of civil aviation branch as a whole, and at level of the separate enterprise.

Key words: civil aviation, environment protection, aircraft noise, air pollution, optimization of operation modes

Підписано до друку 18.09.97. Формат 60x84/16. Папір друкарський.  
Офсетний друк. Ум. фарбовідб. 10. Ум. друк. арк. 2,09. Обл. вид. арк. 2,25.  
Тираж 100 прим. Замовлення № 175-1. Ціна . Вид. №90/ІУ.

---

Видавництво КМУЦА.  
252058, Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

434380

AB 38.567