

УДК 629.7 : 534.2

В.І. Токарев, О.І. Запорожець

АВІАЦІЙНИЙ ШУМ ЯК ПРОБЛЕМА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Одним із чинників негативного впливу авіації на навколишнє середовище є шум, що регламентується вимогами міжнародного стандарту – Додаток 16 (т. 1) ІКАО до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію. Розглянуті аспекти впливу авіаційного шуму на природне середовище; що існує поза повітряним судном, та середовище, що утворюється всередині гермокабін повітряного судна. Здійснений аналіз утворення та оцінки впливу авіаційного шуму. Досліджені засоби зменшення авіаційного шуму.

Одним із чинників негативного впливу авіації на навколишнє середовище (НС) є шум, що регламентується вимогами міжнародного стандарту (Додаток 16, т. 1 ІКАО до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію). Авіаційний шум (АШ) впливає на два матеріальні середовища: природне, що існує поза повітряним судном (ПС), та середовище, що утворюється всередині гермокабін (ГК) ПС. На місцевості АШ впливає на обслуговуючий технічний персонал, працівників аеропорту і найбільшою мірою – на населення, що проживає поблизу аеропорту, працівників виробничих підприємств, розміщених у зонах з інтенсивним шумом [1 – 5]. Шум всередині ГК ПС докучає екіпажів [1, 6]. Тому проблема зниження АШ має два аспекти: зменшення шуму на місцевості та всередині ГК ПС. Авіаційний шум впливає на різноманітні категорії людей, тому при оцінці ефективності засобів зниження шуму необхідно використовувати наступні показники: екологічні, технічні, санітарно-гігієнічні, соціологічні та економічні.

З екологічної точки зору проблема зниження АШ може бути вирішена шляхом забезпечення максимальної сумісності безпечного та впорядкованого розвитку цивільної авіації (ЦА) з якістю НС. Технічний аспект проблеми зниження АШ включає розробку методів зменшення АШ у джерелі його утворення. При цьому експлуатанти повинні забезпечити ефективну експлуатацію ПС за мінімально можливого впливу на НС.

Збільшення обсягу авіаційних перевезень у світі висуває необхідність виконання економічних показників ЦА, що обумовлює необхідність досягнення компромісу між здобутками, що надаються ЦА суспільству, та збитками, що завдаються НС. Санітарно-гігієнічний підхід враховує специфіку впливу АШ на людину і дозволяє виробити критерії для оцінки даного негативного впливу. Ці критерії, що визначаються при формуванні санітарно-захисних зон у районі аеропорту, визначають міру комфорту всередині ГК ПС, регламентують тривалість роботи технічного персоналу при обслуговуванні авіаційної техніки та дозволяють вирішувати ряд інших проблем санітарії та гігієни людини. Соціологічний підхід заснований на статистичному аналізі реакції населення на АШ. У даному випадку на підставі оцінки частки населення, що тією чи іншою мірою підпадає під вплив АШ, здійснюється планування використання земельних ділянок поблизу аеропорту та опрацьовуються ефективні стратегії зменшення шуму в районі аеропорту.

В робочому циклі експлуатації ПС в районі аеропорту можна виділити наступні етапи: запуск та прогрівання двигунів, руління від місця стоянки до старту на зльотно-посадковій смугі (ЗПС), розбіг по ЗПС, пробіг по ЗПС (після посадки з використанням реверсу двигунів), повітряні етапи руху при зльоті та посадці. Авіаційний шум може впливати на

людей при опробуванні двигунів після їх технічного обслуговування, ремонту, заміни двигунів. Максимальні рівні шуму утворюються на етапах розбігу, зльоту та пробігу літака, але тривалість етапів різна, тому змінюється і час впливу шуму.

Основними джерелами АШ є: силова установка, аеродинамічний шум потоків навколо конструктивних елементів планера, елементів механізації крила, шасі. Для літаків з турбореактивними двоконтурними двигунами (ТРДД) з низьким ступенем двоконтурності переважаючими джерелами шуму є реактивний струмінь та вентилятор; для ТРДД з високим ступенем двоконтурності – двоконтурний струмінь, вентилятор, турбіна, камера згорання та ін. Аеродинамічний шум обтікання планера обумовлений взаємодією повітряного потоку з елементами конструкції ПС (з крилом, шасі, механізацією крила тощо). Шум реактивного струменя є найбільш суттєвим акустичним джерелом для надзвукових транспортних літаків. Для гвинтових літаків і вертольотів основними джерелами шуму є гвинти та внутрішні джерела двигуна.

При експлуатації ПС на НС впливають нестационарні рівні АШ, тому при оцінці цього впливу враховуються енергетичні характеристики шуму, режими експлуатації ПС та реакція населення, працівників аеропорту, пасажирів на дію АШ. Фізичними характеристиками джерел АШ є: інтенсивність шуму, що визначається з використанням логарифмічної шкали вимірювання у вигляді рівнів звукового тиску L (РЗТ), або рівнів звукової потужності L_w (РЗП), частотний склад шуму (що подається у вигляді спектральної характеристики у визначених смугах частот); напрямок випромінювання шуму (характеристика направленості випромінювання); статистичні характеристики шуму. Поряд з фізичними параметрами АШ, що є вихідними для розрахунків, використовуються:

- рівні впливу шуму, що враховують психофізіологічну реакцію людини на шум, тобто рівні звуку (РЗ) з частотною корекцією фільтрів L_A , L_B , L_D та рівні сприймаемого шуму PNL, PNLТ;

- ефективні рівні шуму, що враховують суб'єктивність сприймання та час впливу шуму, наприклад, ефективні рівні сприймаемого шуму EPNL;

- сумарні критерії впливу шуму, що враховують зміну в часі рівнів шуму та повторювання його випромінювання (відповідно до прольотів ПС) протягом певного визначеного часу, наприклад, еквівалентний рівень звуку $L_{екв}$, L_{DN} , NEF, NNI, N, CNEL, WECPNL [1–6]; інтегральні критерії шуму, що оцінюють нестационарні рівні шуму, інтенсивність польотів та реакцію населення на АШ, наприклад, значуща площа загальної неприємності SAGA, рівні шуму у зоні заселення LWP, кількість населення, що страждає від впливу АШ [1–6].

Таким чином, задача оцінки впливу АШ на НС є багатокритеріальною. В авіаційній практиці критерії шуму використовуються для рішення окремих задач сертифікації та нормування акустичних характеристик ПС, рішення задач зменшення наслідків впливу АШ. Наприклад, при сертифікації по шуму ПС відповідно до вимог Додатка 16 (т. 1) до Конвенції про міжнародну ЦА ІКАО [7] та відповідних національних стандартів використовуються такі критерії шуму: ефективні рівні сприймаемого шуму (для дозвукових та надзвукових літаків ЦА, важких гвинтових літаків), РЗ у дБА (для гвинтових літаків легкої вагової категорії, вертольотів). При регламентації допустимих рівнів шуму на території житлової забудови використовуються максимальні РЗ та еквівалентні РЗ. Допустимі рівні шуму у пасажирських салонах та кабінах екіпажу нормуються системою граничних спектрів в октавних смугах частот, а також у вигляді РЗ за шкалою А стандартного шумовимірювача. Іншим критерієм для оцінки шуму в кабіні екіпажу ПС, виходячи з умов вірогідності передачі мовної інформації, є рівень перешкод розмові [6].

Рішення задачі зменшення негативного впливу АШ на НС слід розглядати на підставі системного підходу до нормування, обмеження рівнів негативного впливу шуму з

урахуванням впливу чинників експлуатації, можливих екологічних, економічних та соціальних наслідків цього впливу.

Шум ПС регламентується міжнародними стандартами, розробленими у рамках ІКАО [7]. При сертифікації по шуму ПС регламентуються вимоги до акустичних характеристик: дозвукових реактивних літаків (залежно від часу подання заяви на сертифікат льотної придатності – для старих типів відповідно розділу 2 Додатка 16, для нових типів, заявка на сертифікацію яких прийнята до 6. 10. 1977 р. та пізніше, і гвинтових літаків з масою понад 5700 кг – відповідно до розділу 3), надзвукових літаків – розділ 4 Додатка 16, гвинтових літаків з масою понад 5700 кг (заява на сертифікат льотної придатності прийнята до 1. 01. 1985 р.) – розділ 5 Додатка 16, гвинтових літаків масою не більш 9000 кг (заява на сертифікат льотної придатності прийнята до 17. 11. 1988р. – розділ 6, а після цієї дати – розділ 10 Додатка 16), гвинтових літаків короткого зльоту та посадки – розділ 7 Додатка 16, вертольотів – розділ 8 Додатка 16 (вертольотів з максимальною зльотною масою не більш 2730 кг – розділ 11), допоміжних силових установок – розділ 9 Додатка 16.

Наприклад, відповідно до вимог розділів 2, 3 Додатка 16 шум дозвукових реактивних літаків нормується у ефективних рівнях сприймаемого шуму в залежності від зльотної маси. У вигляді додаткового показника на етапі набирання висоти використовується кількість встановлених двигунів. Норми шуму встановлюються для трьох контрольних точок: при зльоті (точка 1 виміру шуму розташовується збоку від ЗПС на відстані 450 м – за розділім 3 Додатка 16), набиранні висоти (точка 2 на вісі ЗПС на відстані 6500 м від початку розбігу) та під час посадки (точка 3 на вісі ЗПС на відстані 2000 м до ближчого порогу ЗПС). У табл. 1 наведено порівняння результатів сертифікації деяких літаків з нормативними значеннями у контрольних точках 2, 3.

Таблиця 1

Нормативні рівні шуму літаків ЦА у контрольних точках 2, 3
у порівнянні з вимогами розділу 3 Додатка 16

Тип літака	Максимальна зльотна маса, т	Кількість двигунів Тип двигуна	Виміряні рівні шуму EPN, дБ Норми розділу 3 стандарту ІКАО	
			точка 2	точка 3
Ту-154	98	3 НК-8-2У	101,1	106,0
			96,4	101,5
Ил-76Т	170	4 Д 30-КП	103,1	108,9
			101,3	103,3
Ил-96-300	230	4 ПС-90	97,1	104,2
			103,0	104,3
Ту-204	93,5	2 ПС-90	86,3	99,3
			92,8	101,3

Як видно із табл. 1, літаки старих типів не задовольняють нормативним вимогам розділу 3 Додатка 16. За прогнозними оцінками ІКАО в ряді великих аеропортів світу у зв'язку із зростанням обсягу перевезень, незважаючи на впровадження в експлуатацію нових літаків (що задовольняють вимогам розділу 3 Додатка 16), буде мати місце парадоксальна ситуація – збільшення рівнів шуму в районі аеропорту за рахунок все ще широкого використання старих літаків з більшим рівнем шуму.

Характерні значення рівнів шуму всередині кабін ПС та засобів наземного транспорту наведені на рис. 1 [6]. З наведених даних видно, що в ГК ПС утворюються високі рівні шуму.

Нормативні значення рівнів шуму в ГК ПС регламентуються ГОСТ 20296–81. Даними нормативами з метою підвищення комфорту нових ПС або тих, що модифікуються, рекомендується досягнення рівнів шуму, що не перевищують вимог граничного спектру ПС–65, яке є серйозним та важким технічним завданням, особливо для гвинтових літаків.

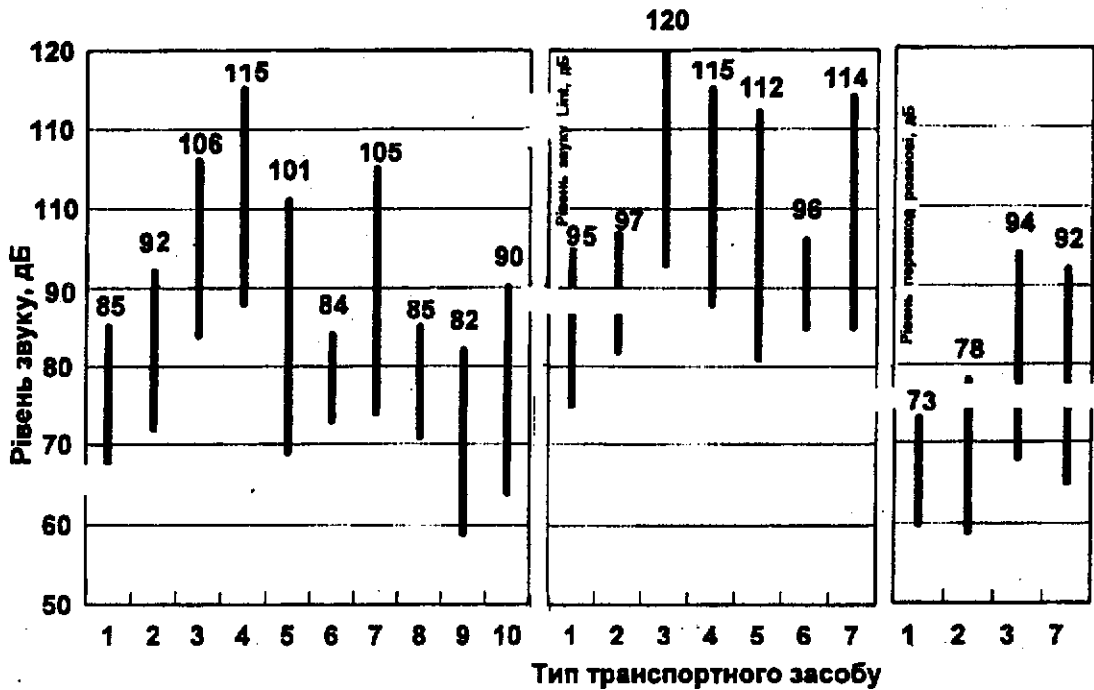


Рис. 1. Характерні рівні шуму в кабінах літаків ЦА і засобів наземного транспорту: 1 – транспортні літаки з турбореактивними двигунами; 2 – реактивні літаки авіації загального застосування; 3 – гвинтові літаки авіації загального застосування; 4 – тяжкі літаки з турбогвинтовими двигунами; 5 – реактивні літаки з двигунами, розташованими у хвостовій частині фюзеляжу; 6 – реактивні літаки з підкрильовим розташуванням двигунів; 7 – тяжкі літаки з турбовентиляторними двигунами; 8 – автобус; 9 – рельсовий транспорт; 10 – автомобіль.

Зараз в Україні формується нова нормативна база зонування околиць аеропортів, що обумовлюється впливом АШ на місцевості і відповідного до нього обмеження житлової та громадської забудови. Діючи до останнього часу значення нормативних показників у різноманітних зонах, що наведені в нормативних документах, є обґрунтованими в першу чергу з позицій санітарно-гігієнічного нормування рівнів шуму. Певним недоліком ряду природоохоронних стандартів СРСР є незадовільне забезпечення виконання нормативних вимог та їх економічного обґрунтування.

Санітарно-гігієнічні нормативи впливу шуму як для шуму навколишнього, так і виробничого середовища, майже однакові у різних країнах. Порівняння нормативних значень АШ навколо аеропортів у більшості з країн показує, що нормативи ГОСТ 22283–88 більш жорсткі у порівнянні з закордонними аналогами. У табл. 2 зведені результати аналізу нормативних значень рівнів АШ для зон заборони житлового будівництва деяких країн, що підтверджують цей факт.

Аналіз показує, що виконання нормативів стандарту [8] тяжко здійснити в умовах сьогодення. Тому у проекті нового нормативного документу, розробленого замість документа [8], пропонується запровадити нормативні значення, максимально близькі до міжнародної практики (в табл. 2 рядки з позначенням "Правила" (проект)).

Таблиця 2

Нормативні значення показників зони заборони житлової забудови в районі аеропорту з умов авіаційного шуму для деяких країн світу

Країна	Критерій	Нормативне значення	Відповідне значення $L_{Аекв}$, дБА
США	L_{DN} , дБА	75	75
	NEF, PNдБ	40	77
Германія	$L_{Аекв}$, дБА	75	75
Канада	NEF, PNдБ	40	77
Великобританія:			
цивільна авіація до 1989 р.	NNI, PN дБ	50	70
цивільна авіація після 1989 р.	$L_{Аекв}$, дБА, день	83	83
	$L_{Аекв}$, дБА, ніч	66	66
військова авіація	$L_{Аекв}$, дБА	83	83
Франція	Ip, PNдБ	96	74
Данія	L_{DEN} , дБА	70	70
Іспанія	$L_{Аекв}$, дБА	75	75
Греція	NEF, PN дБ	40	77
Японія	WECPNL, PN дБ	75	75
ИКАО	WECPNL, PN дБ	87	75
ГОСТ 22283-88	$L_{Аекв}$, дБА, день	65	65
	$L_{Аекв}$, дБА, ніч	55	55
Україна, Правила (проект)	$L_{Аекв}$, дБА, день	75	75
	$L_{Аекв}$, дБА, ніч	65	65

У відповідності до резолюції А31-11, прийнятої на 31-й сесії Асамблеї ІКАО в 1995 р., передбачається реалізація програми по зменшенню АШ у джерелі його утворення, раціональному плануванню земельних ділянок та розробці ефективної стратегії зменшення шуму в районі та на околицях аеропортів. Припускається зниження АШ шляхом застосування комплексних засобів: технічних, впровадження найвигідніших по шуму експлуатаційних заходів пілотування, раціональної організації повітряного руху, планування та контроль за землекористуванням в районі аеропорту.

Як приклад реалізації технічного підходу до проблеми зменшення шуму в джерелі його утворення на рис. 2 наведені особливості акустичної модифікації конструкції реактивного двигуна. Наприклад, впровадження в експлуатацію двигунів з високим ступенем двоконтурності поряд з підвищенням їх паливної ефективності призводить до зниження шуму літаків з ТРДД на 8-10 ЕРНдБ. Цілеспрямована діяльність по зниженню шуму у джерелі його утворення призводить до зменшення рівнів шуму ПС на місцевості (рис. 3).

Впровадження у практику експлуатаційних заходів пілотування забезпечує значне зниження шуму в районі аеропорту. У табл.3 наведений перелік експлуатаційних засобів зменшення шуму, що використовуються у практиці ЦА [5]. Відповідно до рекомендацій ІКАО (резолюція А31-11) державам не рекомендується вводити нові обмеження на експлуатацію ПС, рівні шуму яких перевищують вимоги розділу 3 Додатка 16, до розгляду наступних питань: про необхідність заміни (з міркувань утворюємих ними шумів)

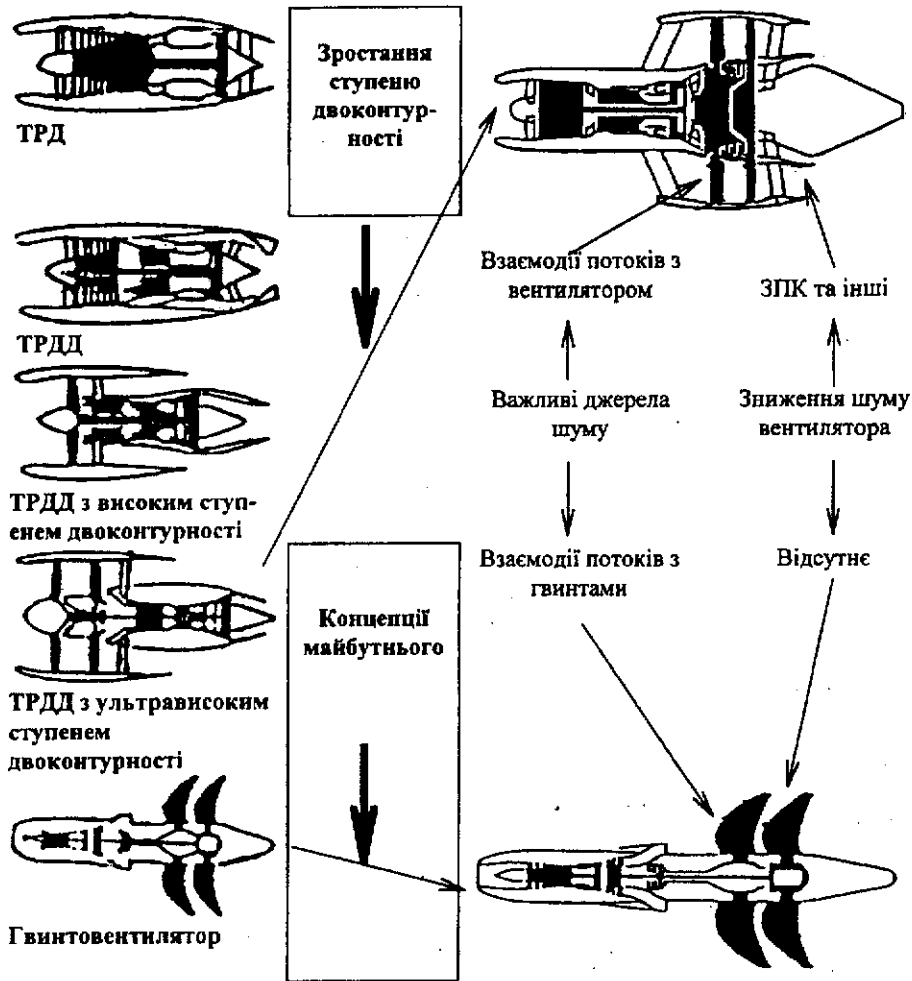


Рис. 2. Типові сучасні перспективні конструкції авіаційних двигунів

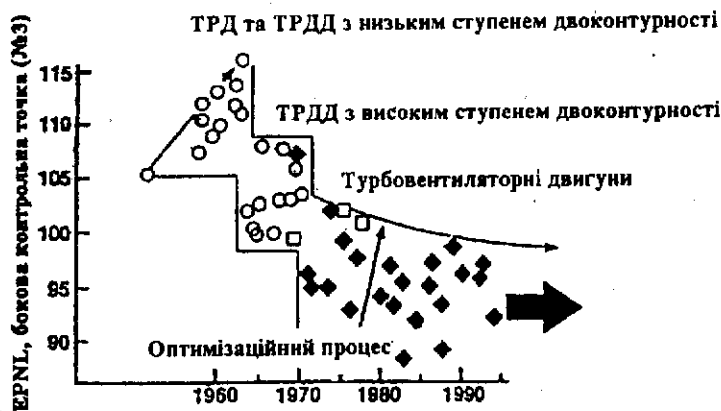


Рис. 3. Етапи зниження авіаційного шуму

експлуатуемого парку ПС, при можливості зміни структури парку експлуатуємих ПС за рахунок їх придбання чи модернізації парку, про доцільність забезпечення зниження шуму у районі конкретного аеропорту, в якому існує проблема АШ. При цьому необхідно оцінювати можливі наслідки запроваджених обмежень по шуму для інших держав, проводити консультації з цими державами, завчасно повідомляючи їх про свої наміри у цій області. У випадку реалізації обмежень на польоти ПС, рівень шуму яких відповідає розділу 2 Додатка 16, але перевищує вимоги розділу 3 Додатка 16, ІКАО рекомендує:

Таблиця 3

Експлуатаційні засоби зменшення АШ

Тип обмежень	Організація руху в районі аеропорту	Обмеження при опробуванні двигунів	Будівельно-планувальні засоби	Оптимізація при зльоті	Оптимізація при посадці
Рівні прольотного шуму	Використання ЗПС, яким надається перевага	Скорочення часу випробування двигуна	Зонування аеропортів	Використання більшого градієнта набору	Збільшення висоти очікування та маневру
Типи повітряних суден	Зміна маршрутів та трас	Раціональна орієнтація літаків	Перспективний розвиток аеропорту	Дроселювання двигунів	Посадка за методикою безперервного зниження
Літаки, що експлуатуються у нічний час	Обмеження нічних та тренувальних польотів Впровадження нових систем зльоту та посадки Оптимізація графіка руху ПС Використання спецавто-транспорту для переміщення літака від/до ЗПС	Використання площадок для опробування двигунів Використання поглиначів шуму Заборона випробування у нічний час	Облік площ забудови Використання звукопоглинаючих конструкцій	Зменшення зльотної маси Використання номінального режиму при зльоті Оптимальне керування польотом ПС	Збільшення кута нахилу глісади Зниження літака з гальмуванням швидкості Використання двосегментної глісади Зниження літака із змінною конфігурацією

- поетапне вилучення з експлуатації шумних ПС, принаймні за період 7 років;
- не обмежувати (у період виводу з експлуатації ПС) польоти будь-яких ПС раніше, як через 25 років після дати видачі першого посвідчення про придатність до польотів;
- не обмежувати у період виведення з експлуатації ПС польоти широкофюзеляжних ПС або інших ПС, що мають двигуни з високим ступенем двоконтурності;
- не допускати відповідно до статті 15 Конвенції про міжнародну ЦА дискримінацію іноземних експлуатантів;
- не вводити обмежень на експлуатацію ПС, що відповідають вимогам розділу 3 Додатка 16;
- рекомендувати державам використовувати комплексний підхід до проблеми АШ, в тому числі здійснювати планування використання земельних ділянок на околицях міжнародних аеропортів, обмеження житлової та виробничої забудови;
- державам сприяти експлуатантам по прискоренню модернізації парку ПС.

В рамках запропонованої концепції екологічної пропускної спроможності аеропорту досліджуються резерви зростання пропускної спроможності аеропорту без погіршення екологічних обставин на його околицях. Наданий підхід дозволяє оцінювати негативний вплив шуму, викидів речовин, що забруднюють ґрунт та води, для різноманітних умов

експлуатації аеропорту. При цьому існують об'єктивні передумови впровадження засобів регулювання екологічного навантаження в залежності від фактичного завантаження аеропорту.

Економічні аспекти екологічних проблем (що обговорювалися, зокрема, на нараді САЕР-3, 1995 р.) включають: облік балансу механізмів регулювання (управління та контролю за виконанням) і економічних важелів впливу за принципом – "сплачує той, хто забруднює" (використовуються закони ринку, засоби стимулювання). Зараз в Україні традиційно використовуються суто адміністративні заходи регулювання АШ при рішенні проблем охорони НС від негативного впливу ЦА.

Проблема зниження шуму всередині ГК ПС невідривно пов'язана з задачами зменшення шуму на місцевості, тому що в кабінах ПС джерелами, що створюють шум, є ті ж акустичні джерела: силова установка та аеродинамічні потоки на елементах конструкції ПС. Тому, наприклад, зниження шуму у джерелі його утворення призводить до зменшення рівнів шуму як на місцевості, так і всередині ГК ПС. Додатковими джерелами шуму в ГК ПС є також бортове обладнання, що включає насамперед систему кондиціювання повітря [6].

Джерелом низькочастотного шуму в ГК може бути структурний шум, що зумовлений збудженням і розповсюдженням коливань крізь конструкцію в кабінку ПС [1]. Шум в ГК від інших джерел залежить від конструктивних особливостей ПС, типу та розміщення силової установки, режимів експлуатації ПС. Наприклад, для літаків з гвинтовими двигунами найбільший шум спостерігається поблизу площини обертання гвинтів. На крейсерських режимах польоту літаків з реактивними двигунами шум граничного повітряного шару на поверхні фюзеляжу є джерелом, що визначає акустичні коливання у носовій частині фюзеляжа. У табл. 4 наведені основні джерела зовнішнього і внутрішнього шуму ПС [6].

Різноманітність шляхів розповсюдження та джерел шуму в ГК ПС вимагає застосування комплексних засобів для його зниження. Традиційний шлях зменшення шуму літаків з гвинтовими двигунами – застосування звукопоглинаючих конструкцій (ЗПК). Цей засіб використовується також для зменшення шуму основних акустичних джерел реактивного двигуна (вентилятора, камери згорання, турбіни). До недоліків цього засобу можна віднести збільшення маси літака, бо при масі ЗПК понад 1% від маси літака погіршуються економічні показники експлуатації ПС. Одним із засобів зменшення шуму в ГК літаків з турбогвинтовими двигунами є синхрофазування обертання гвинтів, коли зменшення інтенсивності звуку здійснюється шляхом сприятливої інтерференції акустичних коливань, що генеруються гвинтами.

Перспективним напрямком зменшення шуму в ГК є розробка активних засобів зниження шуму, наприклад, з використанням акустичних випромінювачів, навушників, а також установка активних демпферів на стіні кабін ПС, що утворюють коливання в протифазі до вхідних коливань. У комбінованих системах використовуються активні демпфери та випромінювачі у вигляді датчиків, що формують керуючі сигнали із застосуванням мікрофонів та акселерометрів.

Одним із засобів зменшення шуму у ГК є використання сприятливої компоновки силової установки (наприклад, у хвостовій частині літака), використання ефектів екранування звуку елементами ПС.

Таким чином, необхідне зниження шуму на місцевості та всередині ГК ПС може бути досягнуто шляхом реалізації комплексного підходу до проблеми, встановлення компромісу між досягненням акустичної ефективності, забезпеченням безпеки польотів та економічною експлуатацією ПС.

Таблиця 4

Основні джерела, характер випромінювання та шляхи розповсюдження шуму в кабіні літаків ЦА

Джерело шуму	Частотна характеристика шуму	Характер і шлях розповсюдження шуму
Зовнішній потік: турбулентний пограничний шар	Широкополосний	Повітряний, поверхня фюзеляжу
Відрив струменів	—”_	—”_
Місцеві збурення	Широкополосний та дискретні складові	—”_
Силова установка: вихлоп струменя	Широкополосний	—”_
Вентилятор	Дискретний	Структурний, вузли підвіски двигуна
Вібрація ротора	—”_	Повітряний, поверхня фюзеляжу
Гвинт	—”_	—”_
Вихлоп поршневого двигуна	—”_	—”_
Вібрація двигуна	—”_	Структурний, вузли підвіски двигуна
Аеродинамічна несбалансованість гвинта	—”_	—”_
Вібрація крила	—”_	Структурний, крило
Відрив вихорів з лопасті гвинта	—”_	Структурний, вузли підвіски двигуна, крило
Бортове обладнання: система кондиціювання повітря	Широкополосний та дискретні складові	Повітряний, канали трубопроводів
Гідросистема	Дискретний	Структурний, енерговузли
Допоміжна силова установка	—”_	Структурний, вузли підвіски допоміжної силової установки

Список літератури

1. *Авиационная акустика*. Шум пассажирских самолетов и вертолетов на местности /Под ред. А. Г. Мунина. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.
2. *Авиационная акустика*. Шум в салонах пассажирских самолетов /Под ред. А. Г. Мунина. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
3. *Квитка В.Е., Мельников Б.Н., Токарев В.И.* Нормирование и снижение шума самолетов и вертолетов. – К.: Вища шк., 1980. – 208 с.
4. *Квитка В.Е., Мельников Б.Н., Токарев В.И.* Гражданская авиация и охрана окружающей среды. – К.: Вища шк., 1984. – 136 с.
5. *Токарев В.И., Запорожец А.И., Страхолес В.А.* Снижение шума при эксплуатации пассажирских самолетов. – К.: Техника, 1990. – 127 с.