

УДК 625.717.001.2:534.836.2(045)

О.В. Коновалова

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ АЕРОПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ЗА ШУМОМ

Інститут екології та дизайну НАУ, e-mail: ekon@nau.edu.ua

*Виконано аналіз рекомендацій щодо проведення оцінки наслідків розвитку аеропортів для навколишнього середовища. На прикладі аеропорту Київ (Жуляни) показано, що проблема авіаційного шуму заважає підвищенню пропускної здатності не тільки найбільших аеропортів світу, але й відносно невеликих. Розглянуто три види пропускної здатності аеропорту та їх взаємозв'язок. На стадії екологічного проектування аеропорту обґрунтовано використання значення максимальної експлуатаційної пропускної здатності при встановленні меж зони захисту від несприятливого впливу авіаційного шуму та планування землекористування в районі аеропорту.*

### Вступ

Відповідно до закону України про об'єкти підвищеної небезпеки аеропорт і злітно-посадкова смуга (ЗПС) є потенційно небезпечними об'єктами для навколишнього середовища. Отже, проектування й експлуатація цих об'єктів повинні проводитися з обов'язковим проведенням екологічної експертизи відповідно до закону України про екологічну експертизу.

Під час оцінювання і вибору ділянки під будівництво аеропорту регламентуються послідовно дві стадії проектування [1]:

- фізичне проектування (проектування повітряного простору і наземної інфраструктури аеропорту);
- екологічне проектування (оцінка впливу об'єкта, що проектується, на навколишнє середовище).

Документ [2] визначає необхідність проведення оцінки наслідків проектів розвитку аеропорту, особливо авіаційного шуму, для навколишнього середовища.

Рівні шуму в околицях аеропорту залежать від двох економічно виправданих тенденцій:

- можливості авіакомпаній замінити застарілу авіаційну техніку сучасними менш шумними типами повітряних суден (ПС);
- потреб даного регіону в збільшенні повітряних перевезень, тобто наростанні інтенсивності повітряного руху.

Реалізація обох тенденцій у кожному конкретному аеропорті залежить від загальної економічної ситуації і взаємодії адміністрації аеропорту, авіакомпаній і місцевої влади.

У результаті проблема шуму може стати неактуальною в одних аеропортах і загрозливою в інших.

Наприклад, для аеропорту м. Дрездена за звітами відділу охорони навколишнього середовища, шум не є першочерговою екологічною

проблемою через низьку інтенсивність повітряного руху, оскільки основне навантаження на перевезення в даному регіоні припадає на аеропорт м. Лейпцига, розташований на відстані 200 км.

Дослідження 50 найбільших аеропортів світу [3] обґрунтовують пріоритет екологічних проблем (рис. 1).

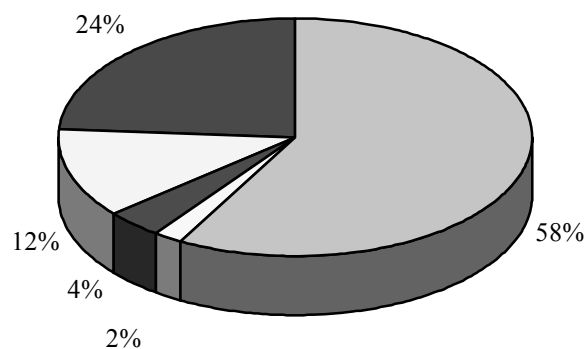


Рис. 1. Екологічні проблеми для найбільших аеропортів світу

Для 29 (58 %) із розглянутих 50 аеропортів зниження авіаційного шуму є основним напрямом діяльності в галузі охорони навколишнього середовища; 12 та 6 аеропортів відмітили якість води (24 %) та повітря (12 %) відповідно як основний пріоритет своєї екологічної програми; 2 аеропорти (4 %) мають обмеження з боку сумісності з використанням прилеглих територій і тільки 1 аеропорт (2 %) не визначився з даного питання.

### Види пропускної здатності аеропорту

У ряді випадків проблема шуму перешкоджає зростанню пропускної здатності (ПЗ) аеропорту, приводячи до виникнення суперечності між змістом понять “економічна ПЗ” і “екологічна ПЗ” аеропорту [4].

Під економічною ПЗ слід розуміти максимальну кількість ПС, пасажирів, вантажів і пошти, що можуть бути обслуговані у визначе-

ний період часу при існуючій інфраструктурі аеропорту за певних економічних умов.

У короткостроковій перспективі для існуючого аеропорту доходи виробничих служб визначають ці економічні умови. У довгостроковій перспективі наявність і обсяг інвестицій у розвитку інфраструктури буде обмежувати економічну ПЗ.

На стадії проектування аеропорту економічна ПЗ фактично є базовою характеристикою і визначається в технічному завданні.

Отже, якщо в регіоні розташування аеропорту є реальна потреба в повітряних перевезеннях, то економічна ПЗ – це оптимальне значення між такою потребою й економічною можливістю її реалізації, тобто ефективна ПЗ.

Під фізичним проектуванням аеропорту, у першу чергу, розуміють:

- визначення місця розташування ЗПС;
- визначення ПЗ системи “ЗПС – руліжні доріжки (РД) – перон”;
- проектування інфраструктури аеропорту з заданою ПЗ.

З урахуванням сучасних технологій і діючих норм у результаті проектування аеропорту визначається його експлуатаційна ПЗ, яка може бути виражена різними способами: ПЗ системи “ЗПС – РД – перон” (рис. 2), продуктивністю пасажирського і вантажного терміналів або служб технічного обслуговування ПС [5].



Рис. 2. Характерна експлуатаційна ПЗ аеропорту

Експлуатаційна ПЗ обмежується, насамперед, вимогами безпеки польотів.

У силу різних природоохоронних проблем деякі аеропорти розглядають можливість обмеження повітряних перевезень, виходячи з вимог охорони навколишнього середовища.

Екологічні обмеження можуть бути виражені різними факторами, однак, авіаційний шум у да-

ний час є найбільш значним несприятливим фактором експлуатації аеропорту.

Багато найбільших аеропортів світу мають експлуатаційні обмеження шуму літаків, що включають експлуатацію літаків, які створюють підвищений шум, заборону нічних польотів і т.д. Визначальним критерієм у даному випадку є кількість людей, що підпадають під вплив авіаційного шуму.

Екологічна ПЗ означає обмеження експлуатаційної ПЗ таким чином, що задовольняються вимоги охорони навколишнього середовища.

Екологічна ПЗ аеропорту виражається максимальною кількістю ПС, що обслуговуються за визначений період часу при заданих екологічних обмеженнях, тобто експлуатаційна ПЗ аеропорту замінюється критеріями ПЗ, вимірюваними на основі параметрів навколишнього середовища.

Якщо експлуатаційна ПЗ за допомогою вимог безпеки польотів накладає обмеження на потребу в розвитку повітряного транспорту (економічна ПЗ), то екологічна ПЗ означає зниження експлуатаційної ПЗ таким чином, що аеропорт функціонує в рамках непорушення екологічних правил.

Звідси зробимо висновок, що всі види ПЗ аеропорту взаємозалежні.

Відповідно до цього, ПЗ аеропорту визначається мінімальним значенням серед трьох виділених видів ПЗ:

$$C = \min(C_{\text{аен}}; C_{\text{аеіі}}; C_{\text{аеіе}}).$$

### Варіанти розвитку аеропорту

Розвиток аеропорту може контролюватися встановленням експлуатаційних (безпека польотів), економічних і екологічних критеріїв. Кожен тип критеріїв, окремо або разом з іншими, може впливати на обсяг повітряного руху в аеропорту за допомогою обмеження кількості злітно-посадкових операцій ПС, кількості пасажирів і обсягу перевезених вантажів.

У даному контексті експлуатаційні критерії визначаються фізичними й експлуатаційними параметрами аеродрому і повітряного простору поблизу аеропорту, вимогами безпеки польотів.

Система аеропортових зборів і плати за визначені види послуг, пропонуємих службами аеропорту, а також баланс витрат і доходів визначають економічні критерії.

Максимально припустимий вплив на навколишнє середовище використовується для визначення екологічних критеріїв.

Розглянемо три шляхи розвитку аеропорту і відповідно зміни ПЗ:

1) збільшення ПЗ при існуючій інфраструктурі без розвитку матеріальної бази аеропорту (наприклад, за рахунок зменшення тривалості зліт-

но-посадкової операції і розвитку системи управління повітряним рухом);

2) збільшення ПЗ за рахунок фізичного розвитку інфраструктури аеропорту (розширення або подовження ЗПС, РД і перону, будівництво додаткових ЗПС, РД і перонних площ та ін.);

3) зменшення ПЗ аеропорту шляхом переносу повітряного руху в сусідні аеропорти (у випадку перевищення екологічних норм).

Керівництво з проектування аеропортів також визначає вимоги щодо планування землекористування в околицях аеропорту і дозволяє досягти сумісності аеропорту з його околицями:

– забезпечити потреби аеропорту (наприклад, визначити зони обмеження перешкод) і перспективу розширення аеропорту;

– забезпечити мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище і населення.

Щодо заходів екологічного контролю і раціонального використання прилеглих територій відзначене також обов'язкове адміністрування такого використання і в процесі експлуатації аеропорту.

У даний час при встановленні зон, що підлягають надмірному впливу шуму, розрахунок  $L_{\text{декв}}$  (день, ніч) проводиться з урахуванням перспективної експлуатації аеропорту на найближчі 10–15 р. Однак, як показує практика, такий прогноз не завжди виправдовується з достатньою точністю.

Цифра, що визначає перспективну кількість ЗПС, виявляється тільки приблизною і, отже, може приводити до некоректного результату при побудові зон впливу шуму. Для уникнення такої помилки і досягнення відповідності зазначеним вимогам пропонується на стадії проектування аеропорту при встановленні зон, що підлягають надмірному впливу шуму, використовувати значення максимальної експлуатаційної ПЗ з урахуванням запроєктованої інфраструктури, а не перспективної на найближчі 10–15 р. Ця цифра є точною, а на підставі такого розрахунку можливо планувати землекористування в районі аеропорту на найближчі 40–50 р. (середній час експлуатації аеропорту до наступної реконструкції).

Таким чином, екологічна ПЗ перестає бути обмеженням для експлуатаційної ПЗ у першому варіанті розвитку аеропорту.

Природоохоронні проблеми виникають не тільки при будівництві нових аеропортів, але і при розширенні існуючих аеропортових об'єктів (другий варіант розвитку аеропорту).

Пропонується застосування аналогічної методики проведення екологічної експертизи проєктованого об'єкта, як і в першому варіанті.

Отже, можна уникнути конфлікту визначених типів ПЗ, тому найменш вигідний з погляду розвитку аеропорту і повітряного транспорту даного регіону третій варіант, може бути виключений.

### Регулювання пропускної здатності аеропорту

У звіті про обмеження розвитку аеропортів (ЕСАС, 2001) відмічалось, що до 2005 р. 12 найбільших аеропортів світу будуть мати значні обмеження можливостей свого розвитку через авіаційний шум. Серед них на першому місці аеропорти Хітроу та Франкфурт.

На сьогодні такі обмеження існують не тільки для вузлових аеропортів-гігантів, але й для відносно невеликих. Наприклад, аеропорт Київ (Жуляни) має обмеження за авіаційним шумом, починаючи з середини 80-х р., перш за все, у вигляді заборонення нічної експлуатації.

Вирішення питання авіаційного шуму на прилеглий до аеропорту селитебній території полягає у необхідності виконати умови  $L_{\text{декв. д}} = L_{\text{декв. н}}$  у кожній точці контролю, наприклад,  $L_{\text{декв. д}} = 65$  дБА.

Розглянемо задачу регулювання ПЗ аеропорту на прикладі аеропорту Київ (Жуляни). Вибір даного аеропорту обґрунтовано тим, що він розташований безпосередньо в межах міста, тому необхідно виконання екологічних нормативів на селитебній території. Для розв'язання задачі використовували такі вихідні дані:

– кількість типів ПС, що експлуатуються,  $NC=1$ ;

– кількість маршрутів польоту  $NT=1$ ;

– кількість процедур польоту (1 – стандартна та 2 – зі зниженням шуму)  $NM=2$ ;

– кількість точок контролю шуму на місцевості  $NL=1$ ;

– кількість злітно-посадкових операцій  $NTC=302$ .

Граничними умовами для заданих вихідних даних є:

I) усі ПС використовують стандартні процедури польоту  $NTC(1) = 302$  (самий поганий варіант);

II) усі ПС використовують методики пілотування зі зниженням шуму  $NTC(2) = 302$  (найкращий варіант).

Для заданих граничних умов результуючий еквівалентний рівень звуку за денний період доби в точці контролю дорівнює:

$L_{\text{декв}}(I)=68$  дБА;

$L_{\text{декв}}(II)=64,5$  дБА.

Отже, для виконання нормативних вимог  $L_{\text{декв}} = 65$  дБА можна запропонувати таке співвідношення:

$NTC(1)=31$ ;

$$NTC(2)=271.$$

Розглянутий варіант задачі є найпростішим, і для нього існує тільки одне розв'язання.

В аеропорту Київ (Жуляни) на 1991 р. було досягнуто піку експлуатації аеропорту:

- кількість типів ПС, що експлуатували  $NC$  становила 2;
- загальна кількість злітно-посадкових операцій  $NTC$  дорівнювала 302;
- кількість злітно-посадкових операцій ПС 1-го типу  $NTC(1) = 154$  і ПС 2-го типу  $NTC(2) = 148$ .

Решта вихідних даних лишається незмінною.

У результаті розрахунку отримуємо для аналогічних граничних умов відповідно:

$$L_{Аекв}(I)=67,3 \text{ дБА};$$

$$L_{Аекв}(II)=63,8 \text{ дБА}.$$

В даному випадку існує певна кількість рішень дотримання нормативу  $L_{Аекв}=65$  дБА.

Наприклад, як перший варіант розв'язання задачі розглянемо використання методик пілотування зі зниженням шуму стосовно більш шумного типу ПС. Для цього пропонується використати експозицію звуку  $SE$ . Значення експозиції звуку, яке має бути досягнуто в точці контролю шуму (ціль), визначається за формулою

$$SE_{goal}(l) = T_{obs} 10^{(0,1L_{Aeq}(l))},$$

де  $l$  – кількість точок контролю шуму;  $T_{obs}$  – період спостереження.

Для окремого прольоту експозиція звуку визначається як:

$$SE(i, j, k, l) = t_0(i) 10^{(0,07L_{Amax}(i, j, k, l))},$$

де  $L_{Amax}(i, j, k, l)$  – максимальний рівень звуку для окремого прольоту в точці контролю  $l$  для ПС типу  $i$ , що пролітає за маршрутом  $j$  з використанням експлуатаційної процедури  $k$ .

Результуюча експозиція звуку визначається за формулою

$$TSE(i, j, k, l) = \sum_{i, j, k} NTC(i, j, k) * SE(i, j, k, l).$$

Якщо реальна експозиція в точці контролю шуму перевищує значення, яке необхідно досягти заради дотримання нормативу (ціль), тобто  $TSE > SE_{goal}$ , необхідно здійснення заходів щодо зниження шуму (зменшення ПЗ аеропорту).

Якщо всі ПС використовують малозумні експлуатаційні процедури і  $TSE_{min}(l) < SE_{goal}(l)$ , в аеропорту є можливість регулювати ситуацію з існуючим парком ПС та відповідною ПЗ.

Для першої граничної умови розподіл експозиції звуку становить:

$$TSE(1,1,1,1) = 0,18472 \times 10^{12};$$

$$TSE(1,1,2,1) = 0,00000 \times 10^{00};$$

$$TSE(2,1,1,1) = 0,12253 \times 10^{12};$$

$$TSE(2,1,2,1) = 0,00000 \times 10^{00}.$$

Отже, тип  $i = 1$  є більш пріоритетним для зниження шуму.

Якщо для всіх ПС 1-го типу запровадити використання експлуатаційних процедур зі зниженням шуму, цього буде достатньо для досягнення встановленої цілі, хоча і для 2-го типу ПС необхідно запровадження цих процедур.

Остаточне розв'язання першого варіанта задачі наведено у табл. 1.

Для цього сценарію  $TSE_{goal} = 0,18215 \times 10^{12}$  і визначається як сума внесків:

$$TSE_1 = 0,82513 \times 10^{11};$$

$$TSE_2 = 0,99500 \times 10^{11}.$$

Таблиця 1

**Перший варіант розв'язання задачі**

$i$	$j$	$k$	$L_{Aij}$	$N_{ij}$
1	1	1	80	0
1	1	2	75	154
2	1	1	82	98
2	1	2	77	50

У результаті внесок ПС 2-го типу стає більшим, ніж спочатку внесок ПС 1-го типу.

Другий варіант розв'язання задачі відрізняється від першого тим, що для пріоритетного типу ПС експозиція знижується до досягнення рівня 2-го типу ПС, а далі методики пілотування зі зниженням шуму запроваджуються до обох типів за умови відносної рівності експозицій від кожного типу між собою.

Результати розрахунку для розглядаємого сценарію наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Другий варіант розв'язання задачі**

$i$	$j$	$m$	$L_{Aij}$	$N_{ij}$
1	1	1	80	13
1	1	2	75	141
2	1	1	82	79
2	1	2	77	69

Розподіл експозиції визначається так:

$$TSE(1,1,1,1) = 0,70448 * 10^{11};$$

$$TSE(2,1,2,1) = 0,51045 * 10^{11};$$

$$TSE(2,1,1,1) = 0,10707 * 10^{11};$$

$$TSE(2,1,2,1) = 0,49978 * 10^{11},$$

сумарне значення для обох типів ПС дає:

$$TSE_1 = 1,214 * 10^{11};$$

$$TSE_2 = 0,606 * 10^{11}.$$

Дані табл. 3 обґрунтовують можливість існування ряду розв'язань даної задачі. Таким чином,

існує ряд станів системи, що розглядається, які задовольняють установлену ціль.

Таблиця 3

## Порівняння варіантів розв'язання задачі

i	j	m	L <sub>Aij</sub>	Вихідне N <sub>ij</sub>	Варіант N <sub>ij</sub>	
					перший	другий
1	1	1	80	154	0	13
1	1	2	75	0	154	141
2	1	1	82	148	98	79
2	1	2	77	0	50	69

Аналогічний підхід справедливий для визначення типів ПС, які можуть бути виключені з експлуатації в аеропорту і замінені на менш шумні, якщо розрахункова мінімальна експозиція звуку перевищує значення цілі в будь-якій точці контролю:

$$TSE_{min}(l) > SE_{goal}(l).$$

Розв'язання задачі залежить від змінення метеорологічних умов (зокрема, від розрахункової температури), тому відповідні заходи щодо зниження шуму можуть бути рекомендовані для відповідних умов, а оцінка має проводитись окремо для кожного варіанта. Наведений підхід буде більш ефективний і точний у разі використання розрахункового методу в комбінації з вимірюваннями (наприклад, використанням даних моніторингу шуму).

**Висновки**

Оцінка наслідків для навколишнього середовища забезпечує комплексний підхід до встановлення екологічних наслідків від аеропорту, що проектується.

Використання значення максимальної експлуатаційної ПЗ для інфраструктури аеропорту, що проектується, зокрема, ПЗ ЗПС, дозволяє встановити зону захисту від несприятливого впливу авіаційного шуму таким чином, що її межі не будуть змінюватися при коливаннях інтенсивності польотів.

Оцінюючі екологічну ПЗ аеропорту з урахуванням критеріїв шуму – необхідно виконувати оцінку ефективності заходів зниження шуму, які реалізовано безпосередньо на території аеропорту або в населених пунктах поблизу від нього.

Для існуючих аеропортів, де експлуатаційна ПЗ вже обмежується екологічною ПЗ, якщо не дотримується умова  $TSE_{min}(l) < SE_{goal}(l)$ , необхідно впровадження інших заходів зниження шуму (наприклад, зміна парку ПС). При цьому при підборі менш шумних типів ПС можливо використання наведеної методики оцінки методів регулювання ПЗ аеропорту.

**Список літератури**

1. *Doc 9184, AN/902*. Руководство по проектированию аэропортов. Ч. 1. Генеральное планирование. – Изд. третье. – Международная организация гражданской авиации, 1987.
2. *Doc 9184, AN/902*. Руководство по проектированию аэропортов. Ч. 2. Использование земельных участков и охрана окружающей среды. – Международная организация гражданской авиации, 2002.
3. *For Greener Sky*. Reducing Environmental Impacts of Aviation // The National Academy of Science, National Academy Press. Washington, DC. – 2002. – 70 p.
4. *Zaporozhets O., Konovalova O., Kartyshev O.* Environmental Capacity of an Airport According to Noise Conditions // Proc. of the 6th Intern. Symposium “Transport Noise And Vibration”, East European Acoustical Association. – St. Petersburg, Russia. 4–6 Jun. 2002.
5. *Janic M.* An Analysis of the Concepts of Airport Sustainable Capacity and Development // 1st Intern. Conf. “Environmental Capacity at Airports”. – The Manchester Metropolitan University. – Manchester, Great Britain. 2nd and 3rd Apr., 2001.

Стаття надійшла до редакції 22.09.04.

Е.В. Коновалова

Особенности проектирования аэропорта с учетом экологических критериев по шуму

Выполнен анализ рекомендаций по проведению оценки последствий развития аэропортов для окружающей среды. На примере аэропорта Киев (Жуляны) показано, что проблема авиационного шума препятствует увеличению пропускной способности не только крупнейших аэропортов мира, но и сравнительно небольших. Рассмотрены три вида пропускной способности аэропорта и их взаимосвязь. На стадии экологического проектирования аэропорта обосновано использование значения максимальной эксплуатационной пропускной способности при установлении границ зоны защиты от неблагоприятного воздействия авиационного шума и планирования землепользования в районе аэропорта.

E.V. Konovalova

Designing of an airport according to ecological noise criteria

The analysis of recommendation for assessment of airport development consequences for environment was done. Based on, as an example, Kiev/Zhuliany airport it is shown that the problem of aircraft noise leads to constraints for airport capacity not only for hubs, but also for small airports. Three types of airport capacity and their connection are discussed. On the stage of ecological design it is recommended to use the

value of maximum operational capacity to set the zone of protection against aircraft noise and for land-use planning.