

УДК 629.7:534.2 (045)

О.В. Коновалова

Національний авіаційний університет, Київ

ЕКОЛОГІЧНА ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ АЕРОПОРТУ З ОБМЕЖЕННЯМИ ПО АВІАЦІЙНОМУ ШУМУ

Запропоновано метод оцінки екологічної пропускної здатності аеропортів цивільної авіації та досліджено вплив експлуатаційних параметрів на екологічну пропускну здатність аеропорту. Встановлено, що для аеропортів України акустичні обмеження стають основними серед екологічних факторів впливу та істотно впливають на загальну пропускну здатність аеропортів цивільної авіації.

Ключові слова: авіаційний шум, методи зниження шуму, екологічна пропускна здатність, акустична пропускна здатність, експлуатаційні обмеження.

Вступ

Актуальність теми досліджень. Питання землекористування навколо аеропортів (аеродромів) має відношення до чотирьох проблем охорони навколишнього середовища, які зазначені в Українському та міжнародному законодавстві та нормативних актах: шум, електромагнітне випромінювання, забруднення повітря та безпека. Вплив від регулярних польотів (прольотів) повітряних кораблів (ПК) на населення може в цілому розглядатись як захист повітряного простору поблизу злітно-посадкової смуги (ЗПС) аеропорту.

У даний час, серед факторів екологічного навантаження, авіаційний шум (АШ) є найбільш значним несприятливим фактором при експлуатації аеропорту. АШ здійснює несприятливий вплив на широке коло людей, що включає не тільки льотно-технічний склад, безпосередньо пов'язаний з експлуатацією авіаційної техніки, інших робітників, пасажирів та відвідувачів аеропорту, але також й найбільш чисельну категорію людей – населення, яке мешкає в районі аеропорту.

Для реалізації процедур використання земель навколо аеропортів в Україні діють Державні санітарні норми [1] та розроблено «Правила визначення зон обмеження житлової забудови навколо аеропортів із умов впливу авіаційного шуму» (далі – Правила) [2]. Згідно Правил територія в районі аеропорту поділяється на три зони обмеження забудови (табл. 1). Нормативними критеріями стану шумового забруднення навколо аеропорту є еквівалентні рівні звуку L_{Aeq} (дБА) та максимальні рівні звуку L_{Amax} (дБА) вдень (7.00 – 23.00) та вночі (23.00 – 7.00).

Для відображення припустимої більш значної чутливості до шуму у нічний час, шумові події, які спостерігаються в цей час, мають враховуватись, як більш шумні, ніж вимірювані, таким чином відповідні нормативні значення зменшені до 10 дБА нижче, ніж для денного періоду часу.

Таблиця 1

Регламентация обмеження
забудови в районі аеропорту

Характер обмеження; зони:	День		Ніч	
	L_{AeqD} , дБА	L_{AmaxD} , дБА	L_{AeqN} , дБА	L_{AmaxN} , дБА
неприйнята до забудови	≥ 75	≥ 90	≥ 65	≥ 80
захисту від шуму	< 75	< 90	< 65	< 80
	≥ 65	≥ 80	≥ 55	≥ 70
обмеження житлової забудови	< 65	< 80	< 55	< 70
	≥ 55	≥ 70	≥ 45	≥ 60

Керівництво з проектування аеропортів [3] визначає вимоги, щодо планування землекористування в околицях аеропорту, які дозволяють досягти сумісності аеропорту з населеними пунктами, розташованими поблизу:

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

– забезпечити мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище і населення.

Проблема екологічного навантаження на довкілля загострюється тим, що в країнах Європи, в тому числі і в Україні, аеропорти знаходяться переважно неподалік від населених пунктів і як результат, відбувається підвищення екологічного навантаження в околицях аеропортів цивільної авіації. Наприклад, для України проблема зниження впливу екологічної діяльності аеропортів особливо актуальна в аспекті поступового збільшення обсягів авіаперевезень, і саме акустична пропускна здатність стає обмежуючим фактором сталого розвитку аеропортів.

Саме тому метою дослідження стала розробка методу оцінки екологічної пропускної здатності (ПЗ) аеропорту з врахування експлуатаційних параметрів та вимог безпеки польотів.

Аналіз досліджень та публікацій. В 2007 р. ІКАО переробила та розповсюдила Інструктивний

матеріал по збалансованому підходу до управління авіаційним шумом, що враховує найкращу світову практику і реалізація якого рекомендується в усіх аеропортах світу. Підхід є комплексним і його складовими в конкретному випадку можуть бути:

- визначення вимог до акустичних характеристик літаків та обмеження експлуатації літаків з невідповідними характеристиками шуму (наприклад, не сертифікованих або сертифікованих відповідно до вимог розділу 2 Додатку 16 до Конвенції ІКАО);

- впровадження нових правил зонування і визначення нових зон заборони та обмеження забудови навколо аеропортів;

- визначення та впровадження експлуатаційних методів зниження шуму;

- визначення вимог до звукоізоляції будинків та інших заходів зниження впливу шуму, реалізація цих заходів;

- впровадження акустичних екранів;

- впровадження системи контролю (моніторингу) шуму;

- впровадження системи плати авіакомпаніями за шум, що утворюється при експлуатації їхнього парку літаків, що стимулює їх до впровадження літаків з поліпшеними акустичними характеристиками, тощо.

Шум розглядається як один з основних факторів при обговоренні питання спільного землекористування ділянок навколо аеропортів.

В Центрі екологічних проблем аеропортів при Національному авіаційному університеті виконано комплекс розрахункових досліджень, в результаті яких були визначені зони несприятливого впливу авіаційного шуму ряду аеропортів України.

Дослідження, проведені фахівцями Центру екологічних проблем аеропортів засвідчили, що в теперішній час з 31 аеропортів України аеропорти Бориспіль, Київ (Жуляни), Одеса, Сімферополь, Дніпропетровськ, Харків, Івано-Франківськ, Черкаси, Рівне, Джанкой та Гостомель мають зони з підвищеними рівнями шуму та концентрації забруднюючих речовин, які частково накривають селітену територію [4]. Такі аеропорти розглядають можливість обмеження повітряних перевезень, виходячи з вимог охорони навколишнього середовища.

Метою даної статті є розв'язання задачі визначення експлуатаційної ПЗ аеропорту при заданих нормативних обмеженнях по шуму, тобто приведення екологічної ПЗ до експлуатаційної, яка є базовою при проектуванні аеропорту.

Основна частина

Розвиток аеропорту та зміна його пропускної здатності

Розвиток аеропорту може контролюватися встановленням експлуатаційних (безпека польотів), еко-

номічних і екологічних критеріїв. Кожен тип критеріїв окремо або разом з іншими може впливати на обсяг повітряного руху в аеропорту через обмеження кількості злітно-посадкових операцій (ЗПО) ПК, 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, що пропонуються службами аеропорту, а також баланс витрат і доходів визначають економічні критерії.

Економічні критерії обумовлено попитом регіону на авіаційні перевезення.

Максимально припустимий вплив на навколишнє середовище використовується для визначення екологічних критеріїв. Екологічні критерії розглядають здатність навколишнього середовища витримувати негативні впливи діяльності аеропорту.

Розглянемо три шляхи розвитку аеропорту і відповідно зміни його ПЗ:

- 1) збільшення ПЗ при існуючій інфраструктурі без розвитку матеріальної бази аеропорту (наприклад, за рахунок зменшення тривалості ЗПО і розвитку системи керування повітряним рухом);

- 2) збільшення пропускної здатності за рахунок фізичного розвитку інфраструктури аеропорту (розширення або подовження та будівництво додаткових ЗПС, руліжних доріжок і перону та ін.);

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

Види пропускної здатності аеропорту та їх взаємозв'язок

Існує декілька визначень ПЗ аеропорту, яка включає наступні: експлуатаційну, з умов безпеки польотів, економічну, екологічну [5 – 7]. У роботі [8] проаналізовано зазначені види ПЗ та їх взаємозв'язок. Екологічна ПЗ аеропорту близька за визначенням до екологічної ємкості навколишнього середовища – тобто таких показників експлуатації аеропорту, які середовище здатне отримувати, витримувати, асимілювати або обробляти. Екологічна ПЗ аеропорту – це умови експлуатації, при яких навколишнє середовище здатне сприймати або підпадати під вплив показників експлуатації аеропорту.

Екологічна ПЗ аеропорту може виражатися максимальною кількістю ПК, пасажирів і вантажів, обслуговуваних протягом даного періоду без порушення екологічних обмежень.

Акустична ПЗ аеропорту – це максимальна кількість ПК, які можуть експлуатуватися протягом даного періоду за умови, що рівень АШ не перевищить задане нормативне обмеження. Як правило, обмеження по шуму включають рівні шуму в кри-

тичних зонах навколо аеропорту. Такі зони включають робочі зони розміщення авіаційного персоналу, задіяного на обслуговування і експлуатацію авіаційної техніки і засобів аеропорту, пасажирів, а також найчисленнішої категорії – населення, що проживає навколо аеропорту.

Реальна ПЗ аеропорту визначається мінімальним значенням серед вказаних видів ПЗ (рис. 1):

$$C = \min(C_{\text{екс}}; C_{\text{екон}}; C_{\text{екол}}),$$

де $C_{\text{екс}}$, $C_{\text{екон}}$, $C_{\text{екол}}$ – відповідно експлуатаційна, економічна та екологічна ПЗ аеропорту.

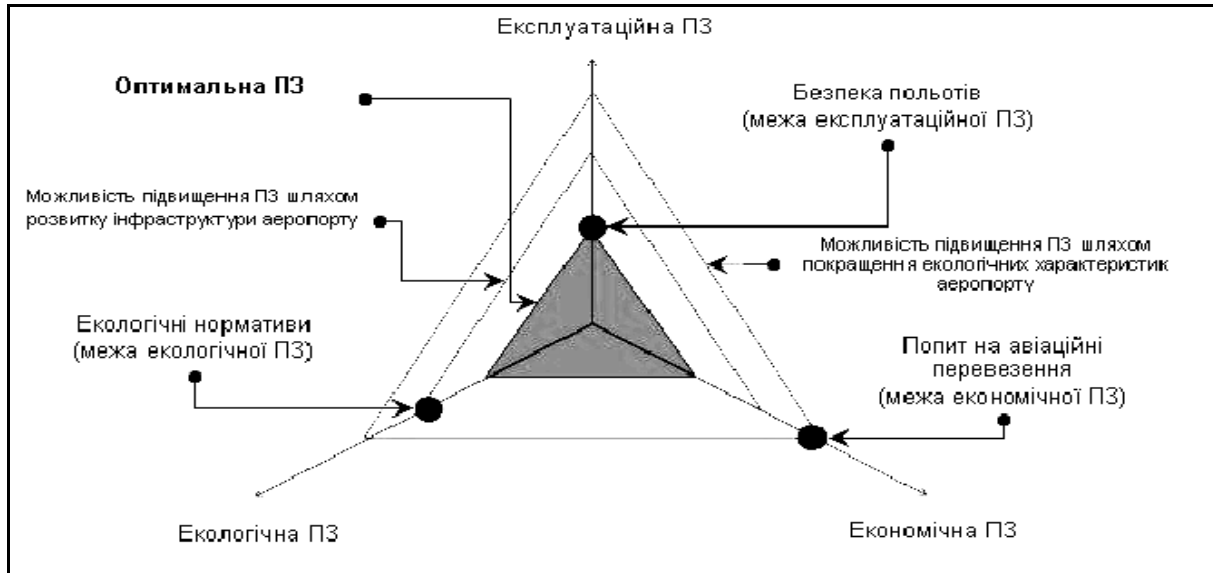


Рис. 1. Критерії обмеження пропускної здатності аеропорту

Обґрунтування розрахункового варіанту та оцінка точності розрахунків

Оцінка проектів будівництва або реконструкції аеропорту на відповідність вимогам по шуму на території аеропорту або на його околицях може бути реалізована визначенням екологічної ПЗ аеропорту. Максимальна мета – привести екологічну ПЗ аеропорту до експлуатаційної. Для цього пропонується методика, згідно якої на початкових етапах проектування розглядаються інтегральні критерії дії шуму і використовується попередня початкова інформація про інтенсивності польотів і складу парку ПК.

Для виконання розрахунків реального акустичного навантаження конкретного аеропорту використовуються дані розкладу руху за один тиждень року, за який досягнуто найбільшу інтенсивність ЗПО. Контури шуму та відповідні до них зони обмеження житлової та громадської забудови визначаються для поточних умов експлуатації ПК в районі аеропорту (аеродрому чи ЗПС) та для перспективних прогнозованих умов експлуатації через 5- та 10-річний період часу.

Важливо зазначити, що незважаючи на точність комп'ютерного розрахунку, місцезаповнення контуру шуму не є обов'язково точним.

Найбільші аеропорти світу також використовують в якості додаткової вихідної інформації системи моніторингу шуму та системи відображення маршруту польоту. Однак ці системи значно дорогі, отже поки ще не впроваджені на території України.

При наявності системи просторового моніторингу шуму та системи контролю маршруту польоту, контури для поточних умов можуть бути визначені з точністю ± 1 дБ.

В інших випадках, рівень точності зазвичай дорівнює приблизно ± 3 дБ. Контури, які відображають прогнозні умови експлуатації аеропорту, наприклад на 5-10-ти річний період часу, навіть менш точні.

Отже, щоб виключити вплив зміни інтенсивності і, відповідно, вірогідність некоректного визначення зон, які підпадають під надмірний вплив шуму, розглядається сценарій завантаження аеропорту на межі значення максимальної ПЗ ЗПС.

Для визначення ПЗ ЗПС використано модель пропускної здатності НАСА [9]. Модель оцінює ПЗ аеропорту як функцію від метеорологічних умов, технологічних процедур, характеристик повітряного руху і рівня технічної оснащеності аеропорту (наприклад, засобами управління повітряним рухом). В моделі НАСА ПЗ аеропорту визначена як граничний рівень за Парето інтенсивності посадок до інтенсивності зльотів за одну годину.

За останні роки в більшості аеропортів України, які в основному виконували місцеві польоти, значно скоротилась інтенсивність експлуатації ПК. З іншої сторони, декілька міжнародних аеропортів мають достатньо високі показники росту інтенсивності ЗПО, а також поступово вводять в експлуатацію нові типи ПК з кращими акустичними характеристиками.

Отже, для короткострокового прогнозу умов експлуатації ПК в аеропортах (наприклад, на термін 5-10 років, коли інтенсивність руху ПК збільшиться у два рази порівняно з даними 2010-2011 років) пропонується використовувати експлуатаційні методи зниження шуму, зокрема, оптимізацію маршрутів зниження на посадку та виходу з району аеродрому, використання будівельно-планувальних заходів зниження шуму, використання спеціальних прийомів пілотування, обмеження експлуатації в нічний та вечірній періоди.

Для більшості аеропортів України з урахуванням поточних умов їх експлуатації, ПЗ дорівнює 15-20 ЗПО за годину.

Таким чином, виконуються три варіанта розрахунків:

Кількість ЗПО, що відповідає найбільшій інтенсивності, яка спостерігалася протягом одного тижня останнього року.

Кількість ЗПО, що спостерігалася протягом одного тижня останнього року, збільшена вдвічі з урахуванням перспективної заміни сучасними літаками.

Кількість ЗПО, яка дорівнює максимальній ПЗ ЗПС аеропорту. Склад парку ПК приймається з урахуванням перспективної заміни сучасними літаками. В нічний час доби виконується не більше 20% ЗПО для кожного типу ПК.

На прикладі аеропорту Бориспіль було досліджено три експлуатаційні варіанти:

– в першому розрахунковому варіанті (інтенсивність польотів і парк літаків, що спостерігалися протягом 2011 р.) контур шуму, який відповідає еквівалентному рівню звуку $L_{AeqD}=75$ дБА, і згідно Правил визначає зону заборони житлової забудови, не накриває населених пунктів в жодному з напрямків виконання польотів;

– в другому розрахунковому варіанті (подвоєна інтенсивність польотів щодо 2011 р.), але парк літаків змінений на сучасні аналоги з характеристиками шуму не вище вимог глави 3 тому 1 Додатку 16 ІКАО та директиви 20002/49/ЕС [10]. За рахунок повного вилучення літаків відповідних типів, контури шуму для еквівалентних рівнів шуму 55, 65 та 75 дБА майже не змінюють характеристик у порівнянні з контурами для першого розрахункового варіанту;

– в третьому розрахунковому варіанті (інтенсивність польотів на межі ПЗ ЗПС, парк складається з літаків з характеристиками шуму за вимогами глав 3 і 4 тому 1 Додатку 16 ІКАО).

Визначення пропускної здатності злітно-посадкових смуг

ПЗ ЗПС є однією з визначаючих пропускних спроможностей аеропорту. Для визначення загальної ПЗ одиничних ЗПС та їх комбінацій необхідно врахувати статистичні дані щодо кількості ПК, що прибувають та відлітають.

Для етапу прибуття розраховуються інтервали між ПК як нормальні випадкові величини. Розраховується розподіл загального часу між прибуттями ПК середнє значення та дисперсія часового розподілу для випадку прибуття лідера та наступного ПК. Протягом певного періоду часу (найчастіше – протягом 1 години) такі розрахунки включатимуть суму багатьох членів. Також можна аналогічно визначити максимальну ємність прибуття.

Для визначення ПЗ аеропорту з паралельними ЗПС, що віддалені одна від одної менше ніж на 210 м, слід враховувати, що просторові обмеження між двома ПК, які здійснюють операції на різних ЗПС, такі самі, як і для тих, що експлуатують одну ЗПС. Припускається, що операції чергуються між ЗПС, тому ПЗ обох ЗПС будуть однакові.

Опис сценарію дії шуму

Обмеження дії шуму протягом часу спостереження T_{observ} встановлюються в зонах (точках) контролю шуму у вигляді рівнів звуку $L_{A\text{Goal}}$, як правило, мають структуру еквівалентних або добових (також еквівалентних, але які включають особливості дії шуму у вечірні і нічні години доби) рівнів. В Україні таким критерієм є еквівалентний рівень звуку в денний $L_{A\text{Goal}} = 65$ дБА і нічний $L_{A\text{Goal}} = 55$ дБА час доби.

Еквівалентні рівні звуку утворюються в результаті окремих подій випромінювання шуму – прольотів літаків над точкою контролю, що характеризуються рівнями експозиції шуму L_{Aijk} (або іншими рівнями звуку, наприклад, максимальними), де i – тип літака, j – маршрут руху, k – методика пілотування, наприклад нормальна або із зменшенням шуму на місцевості.

Експозиція звуку також може використовуватися для оцінки акустичної дії окремої події випромінювання шуму в зоні контролю $SE_i = T10^{0.1L_{A_i}}$. Сумарна (зміряна) експозиція шуму TSE_{real} в зоні контролю

$$TSE_{\text{real}}(l) = \sum_i \sum_j \sum_k SE(i, j, k, l)$$

або

$$TSE_{\text{real}}(l) = \sum TSE(i, j, k, l), \quad (1)$$

$$TSE(i, j, k, l) = NCT(i, j, k) \cdot SE(i, j, k, l),$$

де NCT – кількість прольотів літаків i -го типу, по j -му маршруту руху, з використанням k -ї методики пілотування над l -ю точкою контролю.

Для обмеження шуму в точці l експозиція встановлюється як

$$SE_{\text{Goal}}(l) = T_{\text{observ}} 10^{(0.1 * L_{Aeq}(l))}. \quad (2)$$

Якщо виконується умова $TSE_{\text{real}}(l) > SE_{\text{Goal}}(l)$ – необхідно застосовувати заходи щодо регулювання шуму в точці контролю, у тому числі – по обмеженню реальної ПЗ аеропорту в результаті заборони на польоти літаків вище за значення NCT , задовольняюче $TSE_{\text{goal}}(l)$.

Якщо зробити допущення, що представницький (усереднений по величині експозиції шуму для да-

ного парку літаків) тип літака має експозицію SE_i , то обмежена кількість зльотів/посадок C в аеропорту буде наступною:

$$C = TSE_{Goal}/SE_i. \quad (3)$$

Довгострокові рішення проблеми шуму і пропускної здатності аеропорту

Відповідно до вимог ІКАО, Директив Євросоюзу для забезпечення сталого розвитку аеропортів в довгостроковій перспективі та збільшення екологічної ПЗ аеропортів необхідним є поступове виведення шумних типів ПК та поповнення парку ПК типами, що відповідають вимогам глави 3 Тому 1 Додатку 16 Конвенції ІКАО.

Запровадження регулюючих рішень залежить від множини факторів, в першу чергу таких як: значення нормативу обмеження АШ навколо аеропорту L_{AGoal} , віддаленість населених зон від аеропорту, розміщення маршрутів повітряного руху в зоні аеропорту, і зрештою – парк літаків, що експлуатується в аеропорту, експлуатація якого обумовлює дійсне значення еквівалентного рівня звуку L_{Areal} в зонах контролю.

Залежно від значення різниці рівнів звуку

$$\Delta L_A = L_{Areal} - L_{AGoal}$$

або різниці експозиції шуму

$$\Delta TSE_{goal} = TSE_{real} - TSE_{Goal} \quad (4)$$

приймається рішення стосовно регулювання шуму навколо та в зоні аеропорту.

Поточне значення експозиції шуму визначається для поточних умов експлуатації парку літаків в аеропорту – для України в більшості випадків парк складається з літаків, що не сертифіковані або сертифіковані відповідно до вимог розділу 2 Додатку 16 до Конвенції ІКАО [11].

При умові $\Delta TSE > 0$ необхідно виконати розрахунки для парку з тією ж інтенсивністю польотів, який складається з літаків з ліпшими акустичними характеристиками, ніж поточний парк, наприклад з літаків, сертифікованих відповідно до вимог розділу 3 Додатку 16 до Конвенції ІКАО. Якщо $\Delta TSE_3 > 0$ процедура перерахунку продовжується для літаків з характеристиками за вимогами розділу 4, таким чином визначається значення ΔTSE_4 , яке також може бути позитивним. На сьогодні розділ 4 включає найсуворіші вимоги до характеристик шуму літаків, але умова $\Delta TSE_4 > 0$ означає необхідність визначення нових вимог до перспективних літаків за формулою:

$$\Delta TSE_4/n_{ijk} = \Delta SE_{ijk}, \quad (5)$$

де ΔSE_{ijk} – необхідна різниця в експозиції шуму нового літака, в порівнянні до поточних типів літаків, кількість яких становить n_{ijk} .

Такий підхід є методологічним, насправді парк літаків є складним, він включає літаки усіх категорій, починаючи від не сертифікованих з одного боку, і літаки з характеристиками за вимогами розділу 4 Додатку 16. Тому визначення ΔSE_{ijk} необхідно

виконувати з урахуванням такої ситуації, а також з урахуванням вартості заходів удосконалення акустичних характеристик літаків та збитків, що наносяться експлуатацією невідповідних літаків.

Короткострокові рішення проблеми шуму і пропускної здатності аеропорту

В переліку, що наведений вище, експлуатаційні методи зниження шуму, тобто використання методів пілотування із зниженням шуму на місцевості та заборона польотів певних типів літаків на окремих маршрутах в певні періоди доби, тощо – є короткотривалими (оперативними) рішеннями, які дозволяють в окремих аеропортах здійснювати експлуатацію не порушуючи нормативи (обмеження) навколишнього середовища.

Як правило, методи пілотування із зниженням шуму на місцевості, визначаються окремо для кожного типу літака, але основні елементи таких методів описані в інструктивних матеріалах виду [12]. Якщо такі методики запровадити для всіх літаків на всіх маршрутах, що розглядаються, то загальна експозиція шуму в точці контролю досягне мінімуму TSE_{min} :

$$SE_{min}(i, j) = \min(SE_{min}(i, j), SE(i, j, k, l)), \quad (6)$$

$$TSE_{min}(l) = \sum_i \sum_j \sum_k SE_{min}(i, j, k, l).$$

Якщо $TSE_{min}(l) \leq TSE_{goal}(l)$, то можливість регулювання існує. Але таке запровадження не вигідне з точки зору економічної ефективності, тому як такі методи потребують більших витрат палива у порівнянні з методами пілотування в нормальних умовах. З цієї причини розв'язання необхідно шукати для умови $TSE_{min}(l) = TSE_{goal}(l)$, тобто методи пілотування із зниженням шуму на місцевості необхідно застосовувати для обмеженої кількості літаків.

В загальному випадку дана задача формулюється таким чином. На досліджуваному маршруті руху здійснюються польоти із загальною інтенсивністю N декількома типами літаків, $i = 1, 2, \dots, n$, кількість літаків кожного типу дорівнює $C(i)$. Для кожного типу літака встановлена методика пілотування по маршруту із зменшенням рівня шуму під траєкторією польоту, таким чином для досліджуваної контрольної точки для кожного типу літака визначені значення L_{Amaxj} для декількох методик пілотування, $j=1, 2, \dots, m$, принаймні для двох ($m \geq 2$). Для досліджуваної контрольної точки встановлено обмеження по нормативному критерію дії шуму, наприклад, по $L_{Aекв}$. Необхідно визначити такий розподіл заданої інтенсивності літаків N по типах та по методиках пілотування N_{ij} , яке забезпечуватиме задане обмеження по критерію дії шуму в контрольній точці.

В роботі для її вирішення використаний метод пошуку найвірогіднішого розподілу з умови екстремуму ентропії даної системи (аеропорт з маршрутами

руху і поточним парком літаків). Для вирішення задачі метод визначення найвірогіднішого розподілу використовується з наступними формальними умовами:

– обмеження на інтенсивність руху літаків на маршруті

$$\sum_j N_{ij} = C_i; \quad \sum_i C_i = N; \quad (7)$$

– обмеження на рівень дії шуму в точці контролю

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{T_0}{T} \sum \left(N_{ij} \tau_{ij} 10^{0.1 L_{A \max ij}} \right) \right],$$

яке можна записати в еквівалентній формі вигляду

$$\sum_{i,j} (N_{ij} P_{ij}) = 1, \quad (8)$$

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij} T_0}{T} 10^{(0.1 L_{A \max ij} - 0.1 L_{Aeq})}$$

в приведених формулах (7), (8) рівень експозиції визначений через максимальний рівень звуку $L_{A \max}$ введенням ефективного часу звучання Φ .

Вводиться ентропія системи, яка для даної задачі визначається так само, як і для загального випадку:

$$S = \ln(N!) + \sum N_{ij} \left(\ln \frac{V_{ij}}{N_{ij}} + 1 \right), \quad (9)$$

де V_{ij} – нормована частота використання j -ї методики пілотування i -м типом літака на маршруті.

Найвірогідніший розподіл N_{ij} , що забезпечує виконання обмеження по рівню дії шуму, повинен забезпечувати умову відносного екстремуму виразу (9) за умов (7), (8):

$$N_{ij} = V_{ij} A_i C_i B_1 T_1 \exp(-b P_{ij}); \quad (10)$$

де

$$A_i = \left[\sum_j V_j B_1 T_1 \exp(-b P_{ij}) \right]^{-1},$$

$$B_1 = \left[\sum_i V_i A_i C_i \exp(-b P_{ij}) \right]^{-1} -$$

балансуючі множники, індекс 1 при B означає, що розглядається тільки один маршрут руху літаків, тому $T_1=N$, b – коефіцієнт Лагранжа для досліджуваної задачі, його значення залежить від умов задачі.

Алгоритм розв'язання задачі відповідає узагальненому алгоритму і для її вирішення використаний програмний модуль DISTRI.

Розглянемо найпростіші початкові умови задачі, швидше нетипові для реальної експлуатації в районі аеропорту: кількість типів літаків $n=1$, для якого встановлено дві методики пілотування по маршруту $m=2$, рівні шуму в контрольній точці дорівнюють $L_{A1}=79$ дБА, $L_{A2}=74$ дБА. Необхідно знайти

розв'язання для умов контролю $L_{A \text{екв}}=65$ дБА при інтенсивності польотів 302 за добу.

Початковий розподіл літаків по методиках пілотування $N_{11}=104$ і $N_{12}=198$ обумовлює рівень шуму $L_{A \text{екв}} = 65,3$ дБА в точці контролю. Розв'язання задачі з використанням програми DISTRI отримано у вигляді: $N_{11}=73$ і $N_{12}=229$. Розв'язання отримано для коефіцієнта Лагранжа величиною $b=360$. Особливістю процесу розв'язання задачі є пошук оптимального значення коефіцієнта Лагранжа b і відповідних йому значень множників A , B , оскільки при неоптимальних значеннях b остаточне розв'язання $L_{A \text{екв}} = L_{A \text{екв}0b}$ звичайно не досягається. Наприклад, в процесі розв'язання задачі на послідовних ітераціях значень $b = 1000, 500, 400$ “умовні рішення” задачі обумовлювали значення рівнів в точці 64, 64,6 і 64,9 дБА відповідно.

Оскільки кількість рівнянь в системі (7-9) завжди менше кількості невідомих (задача є недовизначеною), для пошуку остаточного розв'язання необхідно використовувати неформальні ітераційні процедури рішення.

Прості початкові умови даної задачі дозволяють визначити аналітичний вираз для її вирішення у вигляді

$$N_{12} = \frac{T}{\tau} \frac{\left(10^{0.1 L_{A \text{екв}}} - N_1 10^{0.1 L_{A \max 11}} \right)}{10^{0.1 L_{A \max 12}} - 10^{0.1 L_{A \max 11}}}, \quad (11)$$

$$N_{11} = N - N_{12},$$

яке для початкових умов дає розв'язання у вигляді: $N_{11} = 75$ і $N_{12} = 227$. В межах заданої точності рішення, отримане з допомогою (10), відповідає аналітичному рішення (11).

Недоліком даного методу є наявність кількості невідомих, більшої від кількості рівнянь, що вирішуються, (за такої умови рішень, як правило, багато і необхідно дати обгрунтоване остаточне) та необхідність пошуку оптимального значення коефіцієнта Лагранжа b (яке, як правило, забезпечує остаточне рішення), від якого залежить остаточне рішення.

Пошук простих рішень задачі

Перший досліджений метод розв'язання задачі заснований на аналізі загальної експозиції шуму в точці контролю шляхом визначення внеску в експозицію від кожного маршруту:

$$TSE_{\text{route}(j)} = \sum_i \sum_k TSE(i, j, k, l)$$

і від кожного типу літака на маршруті

$$TSE_{\text{type}(i)} = \sum_j \sum_k TSE(i, j, k, l).$$

Цей метод дістав назву „грубого” аналізу експозиції шуму.

Розподіл застосування методів пілотування виконується спочатку для домінуючих типів літаків і маршрутів – тобто для тих, внесок яких в експозицію шуму в точці контролю є максимальним.

$$n_{ij} = \Delta TSE_{Goal} / SE_{ij}. \quad (12)$$

Пояснення результатів такого методу розв'язання задачі є зрозумілим з табл. 1, що наведена нижче для задачі, що розглядається. Його особливість полягає в тому, що методи пілотування із зниженням шуму на місцевості застосовуються послідовно для домінантних літаків і маршрутів (з максимальними внесками), а для літаків, чий внесок найменший – застосовуються методи пілотування в нормальних умовах експлуатації. З табл. 2 видно, що розв'язання задачі суттєво відрізняється від аналітичного розв'язання (9).

Наступний метод „тонкого” аналізу експозиції шуму полягає у тому, що для домінантного ряду експозицій

$$TSE_1, TSE_2, \dots, TSE_n,$$

де TSE_1 – максимальний внесок в загальну експозицію в точці контролю від i -го літака на j -му маршруті, TSE_n – мінімальний внесок, визначається різниця між сусідніми значеннями внесків, наприклад для перших двох як

$$\Delta TSE_1 = TSE_1 - TSE_2. \quad (13)$$

Для знайденої різниці визначається кількість літаків, для яких застосовуються методи пілотування із зниженням шуму на місцевості

$$n_{12} = \Delta TSE_1 / (SE_{11} - SE_{12}), \quad (14)$$

де SE_{11}, SE_{12} – відповідно експозиції шуму літака для методів пілотування в нормальних умовах експлуатації і із зниженням шуму на місцевості.

Якщо виконується умова

$$\Delta TSE_{goal} - \Delta TSE_1 > 0,$$

процедура визначення кількості літаків, для яких застосовуються методи пілотування із зниженням шуму на місцевості, продовжується:

$$\Delta TSE_1 = TSE_1 - TSE_3, \quad N_{12} = \Delta TSE_1 / (SE_{11} - SE_{12});$$

$$\Delta TSE_2 = TSE_2 - TSE_3, \quad N_{22} = \Delta TSE_2 / (SE_{21} - SE_{22}).$$

Процедура завершується домінанті n , якщо виконується умова

$$\Delta TSE_{goal} - \Delta TSE_1 - \dots - \Delta TSE_n < 0.$$

Пояснення результатів методу „тонкого” аналізу експозиції шуму для розв'язання задачі показано в табл. 2, що наведена нижче. Результати розв'язання ближчі до результатів методу (9). Метод зв'язаних коефіцієнтів ω_{ij} , що визначаються через індивідуальні експозиції літаків на маршрутах, які вносять в загальну експозицію шуму в точці контролю:

$$\omega_{ij} = SE_{ij} / SE_{min} \geq 1,0, \quad (15)$$

де $SE_{min} = \min\{SE_{ij}\}$.

Тоді різниця експозиції внеску від кожного літака типу i на маршруті j , для якої визначається кількість літаків, що застосовують методи пілотування із зниженням шуму на місцевості, дорівнює:

$$\Delta TSE_{ij} = TSE_{goal} \omega_{ij} / \sum_{ij} \omega_{ij}.$$

Результати розв'язання задачі

В табл. 2 наведені розв'язання задачі для таких початкових даних: кількість зльотів/посадок – 302, кількість типів літаків – 2 (154 і 148 зльотів/посадок відповідно для кожного типу літака), кількість маршрутів – 1, кількість точок контролю – 1, методів пілотування 2. Рівні експозиції L_{Aij} для літаків, що досліджуються, наведені в табл. 2. Рівень шуму в точці контролю $L_{Лекв} = 67,3$ дБА, нормативне значення, яке необхідно досягти $L_{Лекв} = 65,0$ дБА.

З наведених рішень очевидно, що метод (15) є найближчим до методу (9). І це зрозуміло, якщо взяти до уваги, що коефіцієнти P_{ij} в формулах (8) визначаються через експозиції відповідних літаків. Але метод (15) є значно простішим у застосуванні до розв'язання поставленої задачі розподілу методів пілотування між літаками на маршрутах, що розглядаються. Метод реалізований в програмному комплексі DISTRALL.

Таблиця 2

Результати розв'язання задачі для одного маршруту

i	j	m	L_{Aij}	N_{ij}	Розв'язання			
					9	12	13,14	15
1	1	1	80	154	25	0	13	42
1	1	2	75	0	129	154	141	112
2	1	1	82	148	36	0	79	36
2	1	2	77	0	112	148	69	112

Наступні умови ускладнюються введенням двох маршрутів, а загальна кількість літаків розподіляється між ними початково, як показано в табл. 3. Результати розв'язання показані в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розв'язання задачі для двох маршрутів

i	j	m	L_{Aij}	N_{ij}	Розв'язання			
					9	12	13,14	15
1	1	1	80	80	13	0	7	18
1	1	2	75	0	66	80	73	62
1	2	1	81	74	10	0	29	12
1	2	2	76	0	66	74	45	62
2	1	1	82	72	18	72	14	10
2	1	2	77	0	55	0	58	62
2	2	1	83	76	16	0	0	14
2	2	2	78	0	59	76	76	62

Висновки

В статті наводяться методи розв'язання задачі задоволення експлуатаційної ПЗ аеропорту при заданих нормативних обмеженнях по шуму, тобто приведення екологічної ПЗ до експлуатаційної, яка є базовою при проектуванні аеропорту.

Для існуючих аеропортів, що реконструюються, або в яких інтенсивність руху ПК та парк ПК зазнали істотних змін, результати обчислень підкріплюються результатами інструментальних вимірю-

вань шуму в певних, наперед зазначених, контрольних точках. Результати вимірювань використовуються для підтвердження результатів розрахунку з метою підтвердження, що результати розрахунку не перевищуються.

Результати визначення контурів АШ та зон захисту від шуму подаються у вигляді карти шуму та пояснювальної записки до карти шуму. Карта шуму являє собою топографічну карту розміщення аеропорту (аеродрому чи ЗПС) у масштабі з нанесеними на неї злітними смугами, маршрутами польоту, контурами шуму і визначених в межах даних контурів зон захисту від шуму та обмеження житлової забудови.

Для короткострокового прогнозу умов експлуатації ПК в аеропортах (наприклад, на термін 5-10 років, коли інтенсивність руху ПК збільшиться у два рази порівняно з даними 2010-2011 років) необхідно впровадити збалансований підхід, який включає декілька методів зниження шуму, наприклад, експлуатаційні методи, оптимізація маршрутів зниження на посадку та виходу з району аеродрому, використання будівельно-планувальних заходів зниження шуму.

Вирішення проблеми шуму для довгострокового прогнозу умов експлуатації ПК (коли інтенсивність руху ПК досягне максимальної ПЗ ЗПС) потребує додаткових досліджень.

Аналіз здобутих результатів для існуючого та перспективного завантаження аеропортів дозволяє рекомендувати збалансований підхід до проблеми зниження шуму в районі аеропорту з використанням комплексних заходів.

Список літератури

1. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затв. Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р., № 173.
2. Правила визначення зон обмеження житлової забудови навколо аеропортів із умов впливу авіаційного шуму (проект у другій редакції) – Київ: Укроевропроект, 1996. – 14 с.

3. Doc. 9184, AN/902. Руководство по проектированию аэропортов. Ч. 2. Использование земельных участков и охрана окружающей среды. – Международная организация гражданской авиации, 2002. – 220 с.

4. Konovalova E. Analysis of acoustic load to environment from Ukrainian airports / E. Konovalova // Ecology and life protection of industrial-transport complexes: III International Environmental Congress ELPIT-2011, 21-25 September, 2011: Proceedings. – TSU – 2011. – P. 143-148.

5. Callum Th. Environmental capacity of airports – what does it mean? / Th. Callum // in Workshop Proceedings 2, Environmental Capacity. The challenge for the aircraft industry, Heathrow airport, June, 2000. – P. 9-11.

6. Summary of Working Group Discussions. Environmental Capacity. The challenge for the aircraft industry, in Workshop Proceedings 2, Heathrow airport, June, 2000. – P. 19-20.

7. Janic M. An Analysis of the Concepts of Airport Sustainable Capacity and Development / M. Janic // 1st Intern. Conf. "Environmental Capacity at Airports". – The Manchester Metropolitan University. – Manchester, Great Britain. 2nd and 3rd Apr., 2001. – P. 1-20.

8. Коновалова О.В. Особливості проектування аеропорту з урахуванням екологічних критеріїв по шуму / О.В. Коновалова // Вісн. НАУ. – 2004. – №3. – С. 107-110.

9. Lee D.A., Nelson C., Shapiro G. The Aviation System Analysis Capability Airport Capacity and Delay Models. National Aeronautics and Space Administration. Prepared for Langley Research Center under Contract NAS2-14361, 1998. – 74 p.

10. Директива 2002/49/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 25.06.2002 р. стосовно оцінки та контролю шуму навколишнього середовища (Directive 2002/49/EC of The European Parliament and of The Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise).

11. Environmental protection. Annex 16 to the convention on international civil aviation. Aircraft noise. Vol. 1, ICAO, 1993, 3-d Edition.

12. Руководство по выполнению полетов. PAN-OPS. Т.1: Процедуры выполнения полетов. - Монреаль: ИКАО, Doc.8168-1, 4-е изд., 1993. - 116 стр.

Надійшла до редколегії 27.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Державний університет телекомунікації, Київ.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ АЭРОПОРТА С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО АВИАЦИОННОМУ ШУМУ

Е.В. Коновалова

Предложен метод оценки экологической пропускной способности аэропортов гражданской авиации и исследовано влияние эксплуатационных параметров на экологическую пропускную способность аэропорта. Установлено, что для аэропортов Украины акустические ограничения становятся первоочередными из экологических факторов и значительно влияют на общую пропускную способность аэропортов гражданской авиации.

Ключевые слова: авиационный шум, методы снижения шума, экологическая пропускная способность, акустическая пропускная способность, эксплуатационные ограничения.

ENVIRONMENTAL CAPACITY OF AN AIRPORT TAKING INTO ACCOUNT NOISE CONSTRAINTS

O.V. Konovalova

The method for evaluation of environmental capacity for civil aviation airports is proposed. Effects of operational conditions on airport environmental capacity were investigated. It is concluded that for Ukrainian airports acoustical constraints become the first-priority among other environmental factors and impact significantly on environmental capacity of civil aviation airports.

Keywords: aircraft noise, noise control methods, environmental capacity, acoustical capacity, operational constraints.