

М. М. Радомська¹
Л. М. Черняк¹
М. А. Потапенко¹

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ АВІАТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ

¹Національний авіаційний університет, Київ

Розглянуто вплив сучасних авіатранспортних процесів на кліматичні зміни, що відбуваються у глобальній екосистемі, та прогнози міжнародних організацій щодо перспектив розвитку авіації та відповідних наслідків для клімату. Охарактеризовано вплив авіаперевезень на коливання температурних параметрів в зоні аеропорту.

Ключові слова: авіація, парникові гази, зміна клімату, радіаційний вплив, аеропорт.

Вступ

Зміна клімату — це значна і безперервна варіація статистичного розподілу погодних умов строком від десятиліть до мільйонів років. Це може бути зміна середніх синоптичних ситуацій або розподілу погоди за середніх умов. Зумовлюються ці явища такими факторами: біотичними процесами, океанічними процесами, змінами сонячної радіації, що надходить на поверхню Землі, тектонікою плит, виверженням вулканів, антропогенними втручаннями у природу.

Із початком промислової революції, вплив людини на кліматичну систему значно зріс. Крім прямого теплового забруднення, активна виробнича діяльність людини призводить до викидів у атмосферу речовин, що здатні впливати на кліматичний баланс планети, тобто на кількість енергії, що надходить і кількість вихідної енергії і може спричинювати як потепління, так і охолодження клімату.

Метою роботи є визначення антропогенної складової температурного режиму аеропорту, яка формується за рахунок викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу, двигунами повітряних суден.

Аналіз потенційного впливу авіаперельотів на кліматичні процеси

Протягом польоту авіадвигуни викидають у атмосферу вуглекислий газ, оксиди нітрогену, оксиди сульфуру, водяну пару і тверді частки, що складаються переважно зі сполук сульфуру і сажі. Наслідки впливу емісій авіації залежать від локалізації цих емісій: у верхній частині тропосфери або у нижчій частині стратосфери. Зокрема, вміст водяної пари відносно високий у тропосфері і низький у стратосфері, тоді як рівні озону набагато вищі у стратосфері. Домінуючі фізико-хімічні процеси також відрізняються у тропосфері і стратосфері, тому часові шкали для повітряного транспорту між регіонами різняться. Водяна пара, що надходить у довкілля внаслідок будь-якої людської діяльності, у тропосфері швидко втрачається через змішування і процеси опадоутворення, тоді як на висоті 20 км зберігається і рухається повільно у напрямку до полюса [1].

«Консервативний газ» — це газ який добре змішується з іншими компонентами атмосфери таким чином, що пункт його входження в атмосферу не впливає на кінцеві наслідки для клімату. Вуглекислий газ, що виробляється при згорянні гасу в авіадвигунах, поводить як консервативний газ і також добре змішується. А оксиди нітрогену, що виробляються при високотемпературному згорянні палива у двигуні, швидко вступають у реакції, що приводять до змін кількості наявного в атмосфері озону і метану.

Озон виробляється в тропосфері за участі, зокрема, оксидів нітрогену і руйнується у нижніх шарах стратосфери. Оскільки тривалість життя озону відносно коротка, збільшення або зменшення його кількості під впливом авіаційних процесів обмежується як по вертикалі, так і по горизонталі. Тривалість життя метану, навпаки, досить значна, а, отже, зміна його кількості під впливом оксидів нітрогену поширюється по всій атмосфері. У тропосфері кількість водяної пари, що викидається повітряними суднами, незначна порівняно з існуючими концентраціями в

атмосфері. Проте, разом з твердими частинками водяна пара може приводити до утворення конденсаційних слідів, деякі з яких можуть зберігатися протягом багатьох годин і викликати, утворення, наприклад, перистих хмар.

Отже, спричинені авіацією впливи на навколишнє середовище мають місцевий характер, у тому числі і відповідні наслідки цих впливів для місцевого клімату. Хоча загальний внесок авіації у об'єм парникових викидів варто розглядати на глобальному рівні. Інверсійні сліди літака і перисті хмари хоча і належать до ефектів місцевого рівня але також можуть розглядатись в площині глобальних кліматичних ефектів.

Для оцінки відносного і абсолютного значення та наслідків впливів різних процесів і емісій на клімат, Міжурядова група експертів зі змін клімату (МГЕЗК) використовує термін «радіаційний вплив», тобто коефіцієнт інтенсивності зміни балансу сонячного і теплового випромінювання, внаслідок впливу техногенних процесів або емісій. Це поняття є інформативним, оскільки свідчить, що зміна середньої глобальної температури довкілля є, зазвичай, приблизно пропорційною радіаційному впливу.

Радіаційний вплив є мірою здатності газу або інших чинників впливати на енергетичний баланс, тим самим сприяючи зміни клімату. Радіаційний вплив газу визначається як різниця між надходженням сонячної радіації і виходом інфрачервоного випромінювання, викликаного підвищенням концентрації цього газу. Розрізняють позитивний і негативний типи радіаційного впливу. Позитивний радіаційний вплив призводить до збільшення в енергетичному балансі Землі і, в кінцевому підсумку, спричиняє потепління. Серед викидів повітряних суден позитивний радіаційний вплив характерний для вуглекислого газу та водяної пари. Негативний радіаційний вплив призводить до зменшення енергетичного балансу і, в кінцевому підсумку, до охолодження. Аерозольні частки відбивають сонячне випромінювання, що призводить до чистого охолодження, і, отже, мають негативні значення радіаційного впливу.

За даними МГЕЗК, у 2013 році авіація відповідала за 6,2 % емісій вуглекислого газу за рахунок спалювання палива. Загалом, транспорт відповідає за 13 % викидів, що містять продукти згоряння вуглеводневих палив. Проте повний вплив парникових газів виявився більш серйозним, ніж це передбачалося.

На початку активного впровадження авіаперевезень більшість перельотів відбувалась на дозвукових швидкостях і вони пролягали в діапазоні висот 9—13 км, де емісії оксидів нітрогену призводили, загалом, до зростання кількості озону, а також зменшення вмісту метану. Відносно вуглекислого газу коефіцієнт радіаційного впливу оцінюється для озону на рівні +1,3 і для метану на рівні – 0,8 [2]. Для інверсійних слідів літака цей коефіцієнт досягає значення +1,1 [4]. Аналогічними величинами характеризується вплив на тепловий баланс атмосфери водної пари, оксидів сульфуру та твердих часток, наприклад, сажі. У підсумку сумарний вплив всіх парникових газів характеризується коефіцієнтом близько 2,7 порівняно з вуглекислим газом, хоча коефіцієнти інших факторів, що впливають на тепловий баланс атмосфери, лежать в діапазоні 1...1,5 [2]. Тому авіація вважається відповідальною за 3,5...5,5 % загального радіаційного впливу у період з 1992 по 2013 рр.

Очевидно, що рівень достовірності наукових даних і невпевненості, вказаний для кожного компонента окремо, свідчить про недостатню точність наведених даних. Діапазон радіаційного впливу різних компонентів у підсумку коливається в межах від +1 до +5, а найточнішими даними є інформація про вплив вуглекислого газу [2, 3]. Тому інші компоненти оцінюються саме відносно вуглекислого газу.

Підсумовуючи ці дані можна стверджувати, що загальний вплив авіатранспортних процесів, принаймні у зоні аеропорту, призводить не стільки до абсолютного підвищення середньої температури, типової для певної місцевості, скільки про зниження амплітуди добових коливань. Це зумовлено затіненням від перистих хмар удень і підвищенням температури за рахунок викидів вуглекислого газу, який віддає накопичене тепло у темну частину доби. Так, дослідження стану атмосфери у триденний період після подій 11 вересня 2001 року, коли були заборонені польоти всієї комерційної авіації США, виявив підвищення денної температури та зростання різниці між денною та нічною температурою на 1...2 °C над США [3].

Умови проведення дослідження

Україна має 36 цивільних аеропортів з твердим покриттям, які рівномірно розташовані по всій території країни. Міжнародний аеропорт «Львів» імені Данила Галицького — найбільше летовище

у Західній Україні за пасажиропотоком та маршрутною мережею, розташоване на відстані 6 км від центру міста на південь. Маршрутна мережа Аеропорту складається з 32 напрямків (30 міжнародні та 2 внутрішні). У 2012 році на території аеропорту було зведено з використанням останніх досягнень авіаційної галузі новий аеровокзальний комплекс, який відповідає сучасним технологіям обслуговування пасажирів та багажу, а також міжнародним архітектурним та технічним стандартам і вимогам Міжнародної організації цивільної авіації та Міжнародної асоціації повітряного транспорту. У червні 2013 року, в ході проведення форуму «Розвиток аеропортів в Росії та СНД», МА «Львів» ім. Данила Галицького був удостоєний звання «Кращий аеропорт СНД».

Радіаційний вплив може бути використаний для оцінки подальшої зміни температури поверхні рівноваги (ΔT_s), які впливають із цього радіаційного впливу, за допомогою рівняння:

$$\Delta T_s = \lambda \Delta F, \text{ К}, \quad (1)$$

де λ — чутливість клімату, як правило, вимірюється в $\text{К}/(\text{Вт}/\text{м}^2)$, ΔF — радіаційний вплив.

Для парникового газу, наприклад, вуглекислого газу, радіаційні коди передачі, які досліджують кожну спектральну лінію для атмосферних умов можуть бути використані для розрахунку змін ΔF залежно від зміни концентрації [3]. Ці розрахунки спрощуються в алгебраїчному формулюванні, специфічно для кожного газу і для діоксиду вуглецю мають форму закономірності

$$\Delta F = 5,35 \ln \frac{C}{C_0}, \text{ Вт}/\text{м}^2, \quad (2)$$

де C — концентрація CO_2 в ч./млн за об'ємом, C_0 — умовна (фонова) концентрація, яка дорівнює для вуглекислого газу 380 ч. н. м.

Відношення між діоксидом вуглецю і радіаційним впливом є логарифмічною величиною, і, таким чином збільшення концентрації має прогресивно менший ефект потепління.

Відповідно до мети дослідження основною задачею розрахунків є встановлення інтенсивності авіатранспортних процесів в аеропорті «Львів», об'єму вуглекислого газу, що надходить у приземну зону аеропорту внаслідок цього, та у результаті — величини радіаційного впливу цього об'єму парникового газу.

Результати дослідження

Аналіз льотної активності за даними аеропорту «Львів» виявив, що коливання усередненої кількості повітряних суден, що обслуговуються цим аеропортом, досягає значних величин і тому для аналізу динаміки викидів обрано по одному місяцю у кожному пору року, які відповідають піковим навантаженням у відповідний сезон: березень, червень, травень, грудень.

Для виконання роботи за досліджуваними місяцями визначені основні типи повітряних суден, що приймаються у аеропорті, та розраховано середньодобову кількість повітряних суден певного типу для кожного місяця року. Основними типами повітряних суден, що приймає аеропорт «Львів», є літаки середньої місткості компаній Embraer, Douglas, Boeing, Airbus.

На наступному етапі були розраховані викиди вуглекислого газу визначеними типами повітряних суден для досліджуваних місяців. Для цього розраховано споживання палива, а також кількість CO_2 , сформованого протягом злету. Масова концентрація утвореного на території аеропорту CO_2 у приземному шарі атмосфери (100 м) обчислена з урахуванням 20 % винесення вуглекислого газу за межі досліджуваної зони та переведена у ч. н. м. Таким чином, радіаційний вплив, сформований в результаті руху всіх повітряних суден, визначено за допомогою залежності (2), а подальша зміна температури за рівнянням (1), якщо $\lambda = 0,54 \text{ К}/(\text{Вт}/\text{м}^2)$. Результати розрахунків подані у таблиці.

Результати розрахунку радіаційного впливу і зміни температури

Місяць	Середні дані масової концентрації CO_2 , утвореного на території аеропорту в приземних шарах атмосфери, ч. н. м.	Величина радіаційного впливу ΔF , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Рівень зміни температури ΔT_s , К
Березень	122,1	1,5	+ 1,0
Червень	145,2	1,7	+ 0,9
Вересень	160,75	1,9	+ 1,1
Грудень	197,5	2,2	+ 1,6

Отже, поточна інтенсивність авіатранспортних процесів у аеропорті «Львів» формує антропогенну складову температурного режиму на рівні від 0,9 до 1,6 К. При цьому, найпомітнішим буде вплив у зимовий період, коли середньодобові температури від'ємні, а, отже, потенційні наслідки є серйознішими.

Прогнозування розвитку кліматичних змін у зв'язку з діяльністю авіації

МГЕЗК проаналізувала різні сценарії приросту повітряного транспорту і технічних сценарії прогнозу об'єму спожитого палива і утворених викидів на період з 1990 до 2050 рр. Ці сценарії прогнозують потенційне збільшення викидів діоксиду карбону у інтервалі 0,5...9 % [2].

Розглянуті сценарії ґрунтувались на прогнозі збільшення обсягів перевезень на рівні 3,1 % на рік (це менше величини, що була характерна для останнього десятиліття) і прирості споживання палива лише у 2,7 разів, що відображає можливе підвищення ефективності авіаційних двигунів за рахунок майбутніх наукових відкриттів.

Вплив газів, що входять до складу викидів повітряних суден, особливо тих, що належать до довговічних, наприклад, вуглекислого газу, залежить не лише від миттєвих емісій, а й від викидів, що накопичились в повітрі за попередній період. Тому під час побудови прогнозу на зазначений термін спеціалістами МГЕЗК встановлено, що радіаційний вплив діоксиду карбону у 4 рази більший, ніж у 1992 р. [2].

Загальний радіаційний вплив авіації з урахуванням усіх компонентів викидів ймовірно у 3 рази більший за внесок лише одного вуглекислого газу, вплив якого вивчений найповніше. При цьому інші види діяльності людини характеризуються коефіцієнтами радіаційного впливу в діапазоні 1...1,5. Загалом, враховуючи всі тенденції та зміни, що відбулися з часу розробки основних сценаріїв МГЕЗК (у 1992 році) можна припустити, що отримані за цими моделями величини радіаційного впливу і внеску авіації у кліматичні зміни є не усередненими, а мінімальними значеннями, а отже, ситуація ще далека від стабілізації.

Що стосується прогнозів конкретно для України, то за останні 13 років (крім 2014 р.) Україна мала високі темпи розвитку авіаційної галузі: у 2006 році пасажирообіг зріс у 5,1 разів, а кількість перевезених пасажирів — у 4,3 разів порівняно з 2000 р. За наступний період до 2013 р. темпи приросту склали 4,8 %. Підсумкові та узагальнені розрахункові значення прогнозів свідчать про те, що загальні обсяги перевезених пасажирів у всіх аеропортах України до 2020 р. досягнуть 7—8 млн пасажирів за рік [5].

Значне зростання у 2011—2013 рр. обсягів перевезень пасажирів авіаційним транспортом України забезпечено за рахунок розвитку міжнародних і внутрішніх регулярних перевезень. За підсумками року середній процент комерційного завантаження міжнародних регулярних рейсів зріс на 2,9 % порівняно з 2010 р. і становив 53,9 %, внутрішніх — на 2,3 % і становив 52,7 %.

Натепер основними проблемами розвитку авіаційної галузі України є зношеність основних фондів, дефіцит кваліфікованих кадрів, невідповідність технічних можливостей аеропортів сучасним міжнародним вимогам, відсутність державної підтримки створення нової техніки і впровадження сучасних технологій та ін. Для подолання існуючих проблем та формування конкурентних переваг, що сприятимуть зміцненню позицій на світовому ринку, збільшенню рентабельності, залученню інвестицій, розвитку технологічної бази для України пріоритетними є: створення міжнародних консорціумів за участю провідних транснаціональних корпорацій; організація спільних підприємств; довгострокова кооперація; транскордонні злиття і поглинання; державна підтримка аерокосмічної промисловості. Перспективою розвитку авіаційної галузі України є консолідація авіаційних підприємств у межах потужних структур, що характерно для авіакомплексів розвинених країн [6].

Крім того, ефективним кроком є приватизація частини підприємств державного авіаційного комплексу з метою підвищення прибутковості та інвестиційно-інноваційної активності підприємств. Приватизація дозволяє подолати такі недоліки державного управління, як монополізм та відсутність конкурентних умов бізнесу, відсутність стимулів щодо одержання прибутку, обмеженість фінансування, нецільове використання коштів.

Проте, незважаючи на економічні перспективи, які відкриває розвиток авіації, необхідно враховувати потенційні негативні наслідки для навколишнього середовища, у тому числі забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, акустичні та електромагнітні фактори впливу на здоров'я працівників, пасажирів та жителів прилеглих територій.

Висновки

В результаті виконання досліджень показано, що авіатransпортна діяльність здатна змінювати температурний режим території аеропорту. Визначено, що залежно від льотної інтенсивності у пікові місяці різних сезонів потенційний приріст денної температури складає від 0,9 до 1,6 К. Звичайно, отримані величини зміни температури не приведуть до дестабілізації енергетичного балансу екосистеми. Але, зважаючи на перспективи розвитку авіаційної галузі в Україні та інтенсивне розширення обсягу перевезень через Міжнародний аеропорт «Львів», можна спрогнозувати глибше перетворення мікрокліматичних характеристик досліджуваного та інших обласних аеропортів країни, що набувають статусу міжнародних.

Для мінімізації впливу викидів CO₂ на навколишнє середовище, в першу чергу, на мікроклімат, необхідно передбачати низку спеціалізованих превентивних заходів під час розробки проектів модернізації та розширення обласних аеропортів, зокрема вирішувати питання про обмеження віку повітряних суден, впроваджувати жорсткий контроль за виконанням технологічних операцій та оптимізувати планування авіапідприємств для зменшення об'ємів викидів забруднювальних речовин під час руління в межах зони аеропорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головки В. А. Радиационный баланс и чувствительность климата Земли: диагностика и геопроектирование / В. А. Головки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — № 2. — С. 137—149.
2. Environmental Effects of Civil Aircraft in Flight: Special Report. — London : Royal Commission on Environmental Pollution, 2002. — 48 p.
3. Khodayari A. Intercomparison of the capabilities of simplified climate models to project the effects of aviation CO₂ on climate / [A. Khodayari, D. J. Wuebbles, S. C. Olsen et al.] // Atmospheric Environment. — 2013. — No. 75. — P. 321—328.
4. Travis, D. Cited in Contrails Reduce Daily Temperature Range / D. Travis, A. Carleton, R. Lauritsen // Nature. — 2002. — No. 6898. — P. 601.
5. Current Market Outlook 2012—2031. — New York : Boeing Market Research, 2012. — 37 p.
6. Соколи І. Цивільна авіація України: тенденції, перспективи, пріоритети / І. Соколи, О. Олейникова // Економіст. — 2007. — № 5. — С. 28—30.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 9.06.2015

Радомська Маргарита Мирославівна — канд. тех. наук, доцент кафедри екології, e-mail: m_radomskaya@mail.ru;

Черняк Лариса Миколаївна — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри екології;

Потапенко Марія Андріївна — студент Інституту екологічної безпеки.

Національний авіаційний університет, Київ

M. M. Radomska¹

L. M. Cherniak¹

M. A. Potapenko¹

The evaluation of air transportation processes influence on thermal mode at the airport territory

¹National Aviation University, Kyiv

The Influence of modern aviation processes on climate change, taking place in the global ecosystem, and international organization prognoses concerning the prospects of aviation development and its consequences for the climate have been considered. The impact of air traffic on temperature parameters fluctuation in the affected of airport zone is evaluated.

Keywords: aviation, greenhouse gases, climate change, radiative forcing, airport.

Radomska Marharyta M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Ecology, e-mail: m_radomskaya@mail.ru

Cherniak Larysa M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Ecology;

Potapenko Maria A. — Student of the Environmental Safety Institute

М. М. Радомская¹
Л. М. Черняк¹
М. А. Потапенко¹

Оценка влияния авиатранспортных процессов на температурный режим территории аэропорта

¹Национальный авиационный университет, Киев

Рассмотрено влияние современных авиатранспортных процессов на климатические изменения, происходящие в глобальной экосистеме, и прогнозы международных организаций относительно перспектив развития авиации и соответствующих последствий для климата. Охарактеризовано влияние авиаперевозок на колебание температурных параметров в зоне аэропорта.

Ключевые слова: авиация, парниковые газы, изменение климата, радиационное влияние, аэропорт.

Радомская Маргарита Мирославовна — канд. тех. наук, доцент кафедры экологии, e-mail: m_radomskaaya@mail.ru;

Черняк Лариса Николаевна — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры экологии;

Потапенко Мария Андреевна — студент Института экологической безопасности