

## НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЕКОСИСТЕМОЮ ЗОНИ АЕРОПОРТУ

Ісаєнко В.М., Маджд С.М., Кальницька Д.Д.

Національний авіаційний університет  
просп. Космонавта Комарова, 1, 03058, м. Київ  
madzhd@i.ua

Розглянуто питання функціонування антропогенно-трансформованих систем, а саме з точки зору представлення їх як техноекосистем. На техноекосистемах, розташованих на територіях прилеглих до аеропорту, доведено, що побудова ефективної інтегрованої системи екологічного управління екологічною безпекою техноекосистем полягає у розробці підходів кількісної оцінки та практичного застосування механізмів їх управління. Авторами вперше здійснена математична формалізація техноекосистем в зоні аеропорту та розроблено класифікацію їх станів функціонування. **Ключові слова:** техноекосистема, зона аеропорту, збалансованість, стійкість, екологічне управління.

**Scientific basis of development of environmental management system of technoecosystem in the airport area. Isaienko V., Madzhd S., Kalnytska D.** The issues of func-

tioning of anthropogenically-transformed systems, namely in terms of their representation as technoecosystems, are considered. At technoecosystems located in the territories adjacent to the airport, it is proven that building an effective integrated environmental management system for the ecological safety of technoecosystems is to develop quantitative approaches and practical application of their management mechanisms. The authors first performed the mathematical formalization of technoecosystems in the airport area and developed a classification of their states of functioning. **Key words:** technoecosystem, airport area, balance, sustainability, environmental management.

**Загальна суть проблеми.** Управління природоохоронною діяльністю неможливе без достеменного вивчення процесів, що протікають в навколишньому середо-

вищі. Сучасне природокористування все більше ускладнює взаємозв'язки між природними та штучними об'єктами, які нерозривно функціонують в матеріальному світі, утворюючи цілісність – систему. Розширення меж втручання людини у природні процеси для задоволення власних потреб, зумовило виникнення змішаних систем – антропогенно-трансформованих систем природного походження, в яких природний компонент відіграє важливу роль як засіб праці. Впорядкована множина природних і технологічних елементів та процесів, які в просторово-часовому відношенні функціонують як цілісна система є техноекосистемою. Вона відноситься до складних систем, оскільки має здатність змінюватись в просторі та часі під впливом як зовнішніх, так і внутрішніх чинників. Звідси, будь-який техногенний об'єкт, що функціонує на певній території можна розглядати як техноекосистему.

Об'єкти транспорту своєю діяльністю порушують природні процеси, що призводить до деградації та втрати стійкості екосистеми. За оцінками, частка забруднення від транспортної системи в Україні складає майже 40% [1, 2]. Вплив авіації на навколишнє середовище досить специфічний. На відміну від інших видів транспорту, авіапідприємства мають широкий спектр дії на якість довкілля [3–7]. Основними джерелами забруднення навколишнього природного середовища глобального та

локального масштабу, вважаються аеропорти з приписаною до них спецавтотехнікою [1, 3, 8].

Аеропорт – це складна техноекосистема, функціонування якої забезпечує тісний взаємозв'язок між природною і техногенною системою. Техноекосистема аеропорту має свою структуру, організацію, предметний склад, має конкретні фізичні, хімічні, біологічні та інші властивості, що відрізняють її від будь-якої іншої системи. Техноекосистема в зоні аеропорту – це функціональна територіальна одиниця нообіогеоценозу, яка включає підсистеми:

- *нооценозу* (засоби, предмети праці, інформаційні поля);
- *біоценозу* (комплекс зоо-, фіто-, мікробіоценозу);
- *екотопу* (комплекс кліматопу, едафотопу, гідротопу).

Нооценоз техноекосистеми в зоні аеропорту складають усі системи і об'єкти інженерної інфраструктури. Наприклад, авіатранспорт, авіаційно-технічна база, служби паливно-мастильних матеріалів, теплових інженерних систем теплозабезпечення, спеціального транспорту, аеродромна служба та ін.

Акустичне, електромагнітне, теплове забруднення, викиди та скиди хімічних речовин в зонах аеропорту обумовили трансформацію природних територій. Сучасні глобальні зміни є наслідком руйнування регуляторних механізмів екосистем, що призвело до дисбалансу стійкої рівноваги. Стабілізація процесів антропоген-

ного впливу та організація їх в межах допустимих норм для довкілля є завданням екологічного управління, яке на сьогодні потребує вдосконалення шляхом переорієнтації на запобігання настання небажаних негативних наслідків. Визначено, що побудова ефективної системи екологічного управління полягає у розробці підходів кількісної оцінки та практичного застосування механізмів управління техноекосистемами в зоні аеропорту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У літературі для позначення антропогенно-трансформованих систем використовується досить багато визначень. Зокрема, у роботах Н.В. Шаронової, Л.М. Архипової, М.О. Білової, Ю.П. Залевської, динамічний просторово-часовий комплекс природних та антропогенних речовин та процесів, завдяки яким здійснюється обмін речовиною і енергією в територіальних системах є природно-техногенною системою. О.М. Климчик, Д.І. Ємельянова, М.М. Ганущак, Ю.І.Соха, А.Й. Серант використовують у своїх публікаціях термін «природно-техногенний комплекс». Зарубіжні вчені F. Saladinia, V. Gopalakrishnanb, J.E.Hernandezb використовують термін «techno-ecological system», що означає «техно-екологічна система» [9,10].

Поняття «техноекосистема» живається у вітчизняних наукових доробках П. І. Копача, Т. Т.

Данько, О.В. Міхеєва, Н. П. Тараканової, І. М. Подрезенко, О.О. Протасова. Але, сучасні публікації присвячені проблемам гідротехноекосистем та техноекосистем гірничовидобувних районів. Питання функціонування аеропорту як техноекосистеми досі не розглядалось. Хоча, досить багато напрацювань існує із напрямку впливу авіаційної діяльності на навколишнє природне середовище (НПС). Г.М. Франчук, О.І. Запорожець, С. М. Маджд, Л.П. Малахов висвітлювали питання комплексного впливу авіапідприємств на компоненти довкілля та шляхи підвищення екологічної безпеки техногенного об'єкту. W. Balicki, P. Głowacki, A.W. Schäfer, I.A. Waitz, J. C. Kipnis, M. T. Гончарова обирали об'єктом досліджень процеси атмосферного забруднення. О. Л. Матвєєва, Л. Д. Пляцук, О. А. Бурла вивчали наслідки авіаційної господарської діяльності на гідросферу.

З огляду на масштаб взаємодії повітряної транспортної системи із компонентами НПС, подальший стійкий розвиток неможливо забезпечити без системи управління, що враховує особливості виду діяльності. Принципам оцінки та вибору заходів для сприяння процесам саморегуляції дестабілізованих екосистем приділив увагу О. В. Міхеєв. Конкретизація питання екологічного управління в зоні аеропорту поки не знайшла відображення у працях науковців. Тому, необхідним є представлення аеропорту як техноекосистеми.

**Метою статті** є побудови системи екологічного управління техноекосистем зони аеропорту, що забезпечує стійкість екосистем та враховує специфіку функціонування авіатранспорту.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Складові техноекосистеми в зоні аеропорту можна розділити за їх походженням. Процеси взаємодії природної та техногенної компоненти в техноекосистемі визначають її ступінь збалансованості. Збалансованість в контексті понять сталого розвитку суспільства чи розвитку техноекосистем є синонімічним з поняттям гомеостазу, рівноваги, довготривалості існування тощо. Тому, в загальному випадку стан збалансованості забезпечується за такого рівня впливу техногенної компоненти на складові природного середовища, за якого змінені людиною природні процеси забезпечують довготривале існування техноекосистеми. Тобто, при здійсненні господарської діяльності не можна перевищувати деякі параметри рівня впливу на природну компоненту, аби не порушувати внутрішні процеси саморегуляції, які забезпечують збалансованість системи.

Збалансованість техноекосистеми є передумовою її стійкості. Стійкість – це властивість системи зберігати властивості та риси, що забезпечують функціонування, за умови впливу факторів середовища, що можуть вивести її із рівноваги. Підтримка параметрів техноекосистеми на відносно постій-

ному рівні дозволяє протікати процесам саморегуляції так, що зовнішні фактори впливу не зміщують баланс системи в жоден бік. Механізми забезпечення стійкості та методи її оцінки ще не розроблені для різних типів систем. Зокрема, й для техноекосистеми в зоні аеропорту, домінантна роль техногенної компоненти в якій, зумовлює необхідність кількісного вираження складових через математичну формалізацію.

Техноекосистему можна виразити як множину:

$$T = \{A, B\}, \quad (1)$$

де  $T$  – техноекосистема;  $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$  – множина природних компонентів  $T$ ;  $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\}$  – множина техногенних компонентів  $T$

Множина  $A$  системи  $T$  – це природні компоненти техноекосистеми зі своїми наборами хімічних, фізичних, біологічних показників, що позначаємо як  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ .

В даному випадку природну компоненту техноекосистеми вважаємо сукупністю всіх природних ресурсів та процесів (що протікають між атмосферою, літосферою та гідросферою), а також показників, що описують стан екосистеми.

Множина  $B$  системи  $T$  – це техногенні компоненти техноекосистеми зі своїми наборами параметрів, що позначаємо як  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ .

Техногенною компонентою виступає нооценоз техноекосистеми. І природна, і техногенна компоненти змінюються в просторі і часі та залежать від ступеню впливу біоти та людини.

Тоді, множина елементів  $\{A, B\}$  – це склад  $S$  техноекосистеми  $T$ .

Елементи  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  та  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$  об'єднуються у систему певними взаємозв'язками та взаємодіями  $R$ . Таким чином формується внутрішня структура техноекосистеми (рисунок), яка має вигляд множини:

$$T = \{A, B, R\}, \quad (2)$$

де  $R$  – це внутрішні взаємозв'язки та взаємодії між елементами  $A$  і  $B$

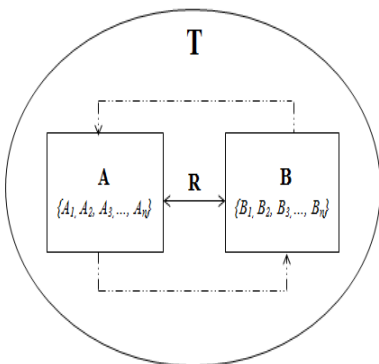


Рисунок. Внутрішня структура техноекосистеми в зоні аеропорту

Крім того, техноекосистема має зовнішні зв'язки  $N$  із навколишнім середовищем, які є множиною  $N = \{N_1, N_2, N_3, \dots, N_n\}$ , що утворюються внаслідок дії

екзогенних факторів  $Z$ .

Оскільки техноекосистема є динамічною, всі її компоненти та зв'язки можуть змінюватись у часі  $t$ . Як зазначалось, склад  $T$  є множиною природної та техногенної компоненти. Але їх зміни протікають по різному, тому залежність складу  $S$  від часу  $t$  можна виразити як:

$$S(t) = \begin{cases} A(t) = \{A_1(t), A_2(t), A_3(t), \dots, A_n(t)\}; \\ B(t) = \{B_1(t), B_2(t), B_3(t), \dots, B_n(t)\}. \end{cases} \quad (3)$$

Множини внутрішніх  $R$  та зовнішніх  $N$  взаємозв'язків теж залежать від часу. Зміна факторів навколишнього середовища має вигляд:  $Z = Z(t) = \{Z_1(t), Z_2(t), Z_3(t), \dots, Z_n(t)\}$ , зміна структури техноекосистеми відображається як:  $T = T(t) = \{T_1(t), T_2(t), T_3(t), \dots, T_n(t)\}$ .

Залежність елементів  $A(t)$ ,  $B(t)$  та структури  $T(t)$  від часу описуються певною функцією  $F(t)$ , що враховує дію на них екзогенних факторів  $Z(t)$ .

З огляду на математичне вираження, техноекосистема в зоні аеропорту  $T(t)$  – це множина природних  $A(t)$ , техногенних  $B(t)$  компонентів та їх зв'язків між собою  $R(t)$ , що під впливом екзогенних факторів  $Z(t)$  взаємодіє із навколишнім середовищем, утворюючи зовнішні зв'язки  $N(t)$  та має властивість змінюватись у часі за функцією  $F(t)$ .

З моменту свого виникнення, техноекосистема в зоні аеропорту впливає на стан НПС, зумовлюючи їх тісну взаємодію. В просторово-часовому розвитку вона мо-

же проходити декілька станів свого функціонування, але, з точки зору екологічної безпеки, найкращим є стан рівноваги, тобто кількісна оцінка компоненти А має відноситись до компоненти В, як 1:1, або 50% на 50%. Будь-яке кількісне зміщення змінює техноекосистему і може перевести її до абсолютно іншої системи. Розроблена класифікація станів функціонування техноекосистеми (таблиця) дозволяє після кількісного обрахування, оцінити її якість. Інакшими словами, стан функціонування техноекосистеми показує ступінь її трансформації, на основі якого можна розробляти ефективну систему екологічного управління та прогнозувати подальший розвиток.

*Таблиця*

### **Класифікація станів функціонування техноекосистеми**

Відсоткове співвідношення		Стан функціонування техноекосистеми
Компонента А	Компонента В	
50%	50%	Урівноважений
40%	60%	Збалансований
30%	70%	Розбалансований
20%	80%	Невідновлювальний
10%	90%	Перехід до абсолютно техногенної системи

Оцінивши загальний стан техноекосистеми, необхідним є аналіз техногенної компоненти, а саме виділення конкретних екологічних аспектів авіапідприємства, що зумовлюють зміщення рівноваги. Екологічний аспект – це вид діяльності аеропорту, що має вплив на стан НПС. Усі екологічні аспекти підлягають кількісній оцінці, що дозволяє виокремити з них найбільш вагомі та пріоритетні. Включення такої оцінки в систему управління дозволяє управляти станом техноекосистеми саме з джерела екологічного впливу.

**Висновки.** Таким чином, управління техноекосистемою в зоні аеропорту має складатись із послідовності кількісної оцінки природної та техногенної компоненти, визначення стану функціонування техноекосистеми та ґрунтовному аналізі причинно-наслідкового зв'язку між ступенем трансформації техноекосистеми та екологічними аспектами техногенної компоненти.

### **Література**

1. Загальна екологія: навч. посіб. / Г.М. Франчук, С.М. Маджд, М.М. Радомська, Є.О. Бовсуновський. – К.: НАУ, 2015. – 232 с.
2. Костюк Я. В. Оцінка екологічної стійкості природно-територіального комплексу поблизу підприємств з експлуатації авіаційної техніки / Я. В. Костюк., С. М. Маджд // Екологічна безпека держави: зб. наук. праць Всеукр. наук. конф. – К. : НАУ, 2011. – С. 156.

3. Франчук Г. М. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля / Г. М. Франчук, А. М. Антонов, С. М. Маджд, Я. В. Загоруй // Вісн. НАУ. – 2006. – № 1. – С. 184–190.

4. Гроза В. А. Екологічний стан ґрунтового покриву в зоні експлуатації і ремонту авіаційної техніки / В. А. Гроза, С. М. Маджд, Г. М. Франчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2010. – Вип. 5. – С. 56–66.

5. Маджд С. М. Акумуляція важких металів у рослинних асоціаціях на територіях, прилеглих до авіаремонтних та експлуатаційних підприємств / С.М. Маджд, Г.М. Франчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України та Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2009. – Вип. 3. – С. 76–82.

6. Маджд С.М. Статистичний аналіз токсичності снігового покриву на територіях поблизу підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки / С.М. Маджд, Г.М. Франчук, В.А. Гроза // Наукоємні технології. – 2012. – №3. – С. 36–39.

7. Маджд С.М. Екологічна оцінка якості поверхневих і ґрунтових вод, в районі експлуатації та ремонту авіаційної техніки / С.М. Маджд, Г.М. Франчук, М.М. Тимошенко // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць / М-во освіти і науки

України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип.9. – С. 116–122.

8. Маджд С.М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм / С.М. Маджд // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2014. – Вип.14. – С.101–106.

9. F. Saladinia, V. Gopalakrishnanb Synergies between industry and nature – An emergy evaluation of a biodiesel production system integrated with ecological systems / F. Saladinia, V. Gopalakrishnanb // Ecosystem Services. – p. 257–266.

10. J.E.Hernandez. Conceptualization, modeling and environmental impact assessment of a natural rubber technological system with nutrient, water and energy integration / J.E.Hernandez // Journal of Cleaner Production. – 1. – p. 707–722.