

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНІКО - ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМ СТАНОМ
АЕРОДРОМНОГО ПОКРИТТЯ

AIRFIELD PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM OF TECHNICAL AND OPERATING
FACILITY



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проектування об'єктів транспортної інфраструктури, Київ, Україна, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124,

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006,

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

В статті виконано огляд APMS для розуміння його успішної реалізації. Після того, як аеродромне покриття аеропорту було відкрито для руху, належні роботи з технічного обслуговування та відновлення-реконструкції мають важливе значення для підтримки функціональності аеродромного покриття на задовільному рівні та продовження терміну його служби. Стратегії технічного обслуговування та відновлення-реконструкції були умовно засновані на емпіричних і суб'єктивних судженнях співробітників адміністрації аеропорту. Для цього був необхідний систематичний метод виконання робіт з технічного обслуговування та відновлення-реконструкції, тобто Система управління аеродромним покриттям аеропорту (APMS). Деякі підсистеми APMS були розроблені шляхом обміну ідеями, інформацією та ресурсами і вступають в практичне використання.

На основі різних досліджень аеродромного покриття аеропортів, таких як дослідження оцінки стану поверхні, структурні оцінки, прогнозування руйнувань та працездатності, а також стратегії технічного обслуговування та відновлення-реконструкції, були розроблені процедури проектування, оцінки та відновлення-реконструкції, які утворюють підсистеми повної APMS.

Підсистема технічного обслуговування та відновлення системи управління аеродромним покриттям аеропорту складається з трьох етапів: етап перевірки та технічного обслуговування, етап оцінки надійності та етап оптимізації відновлення.

Ключові слова: система управління аеродромним покриттям, аеродромне покриття, технічне обслуговування, проектування покриття, програмне забезпечення, показники стану покриття.

Вступ. У більшості країн світу для планування ремонтів автомобільних доріг застосовуються системи - PMS (Pavement Management Systems), зокрема найбільше поширення має система Світового банку HDM-IV (Highway Development and Management Model Four) [1 - 2].

В Україні в 2000-2001 роках на замовлення Укравтодору розроблена система управління станом покриття (СУСП), яка є аналогом HDM-IV [3 - 5]. Дана система функціонувала у відповідності до Наказів Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор) від 25.10.2006 р. № 490 «Про забезпечення функціонування та розвитку СУСП» від 12.03.2008 р. № 95 «Про забезпечення функціонування та розвитку системи управління станом покриттів, паспортизацію автомобільних доріг та проведення обліку руху транспортних засобів». По ряду об'єктивних та технічних причин система фактично не працює з 2018 року.

Також, у 2012 році розроблено Інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством, призначену для обґрунтування управлінських рішень з підтримки мережі автомобільних доріг на потрібному експлуатаційному рівні на основі обробки і відображення даних про поточний та прогнозований стан доріг і мостів, потреби в їх ремонтах і необхідних для їх здійснення витрат [5]. Подальшим розвитком СУСП є система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг [6].

Система управління станом аеродромних покриттів в Україні не розвинута, що є стримуючим фактором розвитку таких систем як для окремих аеропортів так і для мережі аеропортів в цілому.

Постановка проблеми у загальному вигляді. В багатьох аеропортах світу діє система управління аеродромним покриттям аеропортів (Airport Pavement Management System - APMS), яка є корисним інструментом, що включає набір процедур збору, аналізу, обслуговування та звітності даних про аеродромне покриття, таким чином допомагаючи аеропортам знайти оптимальні економічно ефективні рішення для збереження своїх активів на покриттях. Стаття надає поглиблений огляд APMS з широкого огляду літератури з метою виявлення численних проблем в APMS, таких як компоненти, індекси стану аеродромного покриття, використання програмного забезпечення та комплексний процес впровадження. Методологія, прийнята для цього дослідження, є описовим підходом до вивчення різних посібників з аеродромного покриття аеропорту, журнальних статей та книжкових публікацій. Дослідження включає різні напрямки, такі як основні компоненти, підхід до вигод та витрат, управління на різних рівнях, використання програмного забезпечення, технічне обслуговування та політика відновлення-реконструкції (ремонт) упровадженні APMS. Крім того, дослідження вивчає показники ефективності аеродромного покриття, які є ключовими елементами для оцінки стану (road pavement conditions) аеродромного покриття. Крім того, програмні продукти APMS можуть зберігати історичну інформацію, аналізувати дані, розробляти моделі та формувати звіти для ремонтно-відновлювальних заходів спільно з бюджетом, включаючи оцінку майбутнього терміну служби аеродромного покриття. Дослідження узагальнює дані умов, необхідні для впровадження та функціонування APMS, а також інформацію, що генерується APMS. Огляд висвітлює переваги APMS у наданні експлуатантам та інженерам з експлуатації аеродрому набагато більш обґрунтованої позиції для прийняття рішень щодо прогнозування майбутніх вимог до технічного обслуговування аеродромного покриття для адекватного та своєчасного ремонту, реконструкції чи відновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, визначає систему управління дорожнім покриттям аеропорту (APMS) як процес, що здійснюється для нагляду за аеродромним покриттям аеропорту. Вона пов'язана з технічно та економічно стійкими стратегіями управління для підтримки оптимальних сценаріїв відповідності існуючим нормативним актам за допомогою систематичних процедур підтримки прийняття рішень [7]. APMS широко використовується для виконання різних комплексних завдань для підтримки довгострокового обслуговування аеродромного покриття аеропорту. За результатами роботи APMS розписується

програма технічного обслуговування відповідно до рекомендацій, та розраховуються витрати на реабілітацію та ремонт [8]. Традиційно більшість державних органів влади приймають рішення щодо технічного обслуговування та відновлення-реконструкції на основі досвіду та відповідної інженерної практики для управління покриттями аеропортів [9].

Тим не менш, цей критично важливий актив значно розвинувся; таким чином, багато агентств аеропортів з 1985 року використовують Систему управління покриттям аеропорту (APMS) для управління цією інфраструктурою. М. Бротен та ін. 2004 [10] повідомили, що в США близько 84% державних авіаційних агентств використовували APMS. Введення в дію публічного Закону 103-305 (PUBLIC LAW 103-305—AUG. 23, 1994) в 1995 році різко загостило ситуацію. Відповідно до законодавства, агентство аеропорту повинно мати ефективну систему управління обслуговуванням аеродромного покриття, щоб отримати право на отримання федерального фінансування. Функція APMS полягає в розробці економічно ефективних стратегій і, таким чином, безпосередніх осіб, які приймають рішення, для функціонального обслуговування покриттів протягом певного періоду. APMS дотримується систематичної процедури визначення потреб і пріоритетів, планування та графіків технічного обслуговування, а також необхідного розподілу ресурсів. Це дозволяє отримати конкретні рекомендації щодо обслуговування мережі аеродромного покриття при прийнятному рівні обслуговування після аналізу зібраної інформації та оптимізації витрат [9]. APMS сприяє вдосконаленню можливостей управління на місцевому та на вищому рівні. Адміністрація аеропорту приймає рішення щодо програми технічного обслуговування та відновлення-реконструкції аеродромного покриття з подальшими поточними потребами або досвідом [8].

Система управління дорожнім покриттям - це інструмент, який не повинен бути заміною інженерного судження людини. Тим не менш, це може допомогти інженерам та органам аеропортів прийняти правильне рішення під час реалізації проекту [11]. Модель бюджетного проектування з використанням співвідношення показників вартості та стану технічного обслуговування може бути включена в систему управління дорожнім покриттям (PMS) для порівняльного аналізу обслуговування аеродромного покриття серед органів транспортної інфраструктури [12].

Мета статті - полягає у наданні вичерпного опису системи управління покриттям аеропорту, включаючи основні компоненти, переваги, витрати та процес впровадження. Визначення наявних показників стану аеродромного покриття, які використовуються для оцінки загального стану аеродромного покриття, використання програмних програм та додатків APMS. Дослідження надасть чітке розуміння процедур впровадження APMS зацікавленим агентствам з управління аеропортами щодо належного рівня технічного обслуговування наявних ресурсів, які будуть найбільш ефективно виконуватися на їх аеродромних покриттях.

Виклад основного матеріалу.

Система управління дорожнім та аеродромним покриттям (PMS) — це процес, що складається з різноманітних заходів, включаючи планування або програмування інвестицій, проектування, будівництво, збереження або технічне обслуговування та оцінку ефективності дорожньої мережі. Остання розробка методології управління збереженням і управління даними (наприклад, управління активами) призвела до розробки більш комплексних систем управління дорожнім покриттям, де всі вищезазначені дії пов'язані одна з одною на рівні мережі [13].

Метою PMS є підвищення ефективності прийняття рішень, розширення сфери його застосування, забезпечення зворотного зв'язку щодо наслідків рішень, сприяння координації діяльності всередині підприємства та забезпечення узгодженості рішень, прийнятих на різних рівнях управління в одній організації.

Системи управління дорожнім покриттям зручно описувати в термінах двох узагальнених рівнів використання, показаних таким чином:

1. Рівень управління мережею, який іноді називають програмним рівнем, на якому приймаються ключові адміністративні рішення, які впливають на програми для дорожніх мереж. Цей рівень зображено зліва на рис. 1.1.

2. Рівень управління проектами, де приймаються технічні рішення для конкретних проектів. Цей рівень зображено праворуч на рис. 1.2.

PMS може надати ряд переваг для дорожніх агентств як на рівні мережі, так і на рівні проекту. На мережевому рівні PMS надає інформацію, пов'язану з розробкою загальноорганізаційної програми нового будівництва, збереження чи відновлення, яка оптимізує використання наявних ресурсів.

PMS забезпечує порівняння переваг і витрат для кількох альтернативних програм зазначених вище, що дає змогу визначити бюджет або програму, які матимуть найменші загальні витрати або найбільшу вигоду протягом вибраного періоду аналізу. На рівні проекту PMS допомагає забезпечити детальний розгляд альтернативного проектування, будівництва, збереження або відновлення діяльності для конкретної ділянки дороги або проекту в рамках загальної програми. Шляхом порівняння вигод і витрат, пов'язаних з декількома альтернативними видами діяльності, визначається оптимальна стратегія, яка забезпечить бажані вигоди або рівень обслуговування за найменших витрат протягом періоду аналізу.

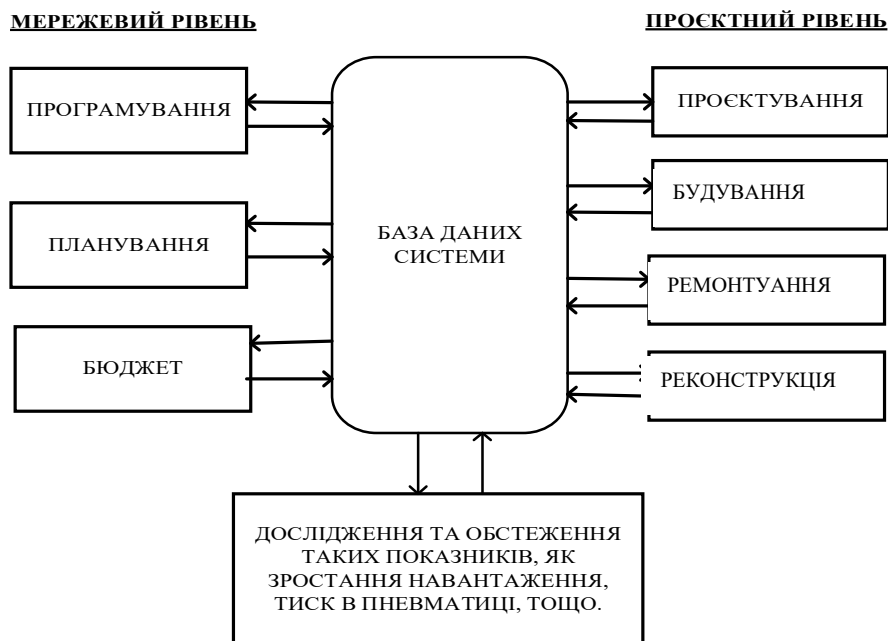


Рисунок 1.1 – Діяльність в системі управління дорожнім покриттям

Figure 1.1 – Activities of the Pavement Management System

На рисунку 1.2 показано взаємозв'язки між «проекткуванням» та іншими типовими діями на рівні після того, як проект або ділянку дороги обрано для будівництва та розпочато проектування [13].

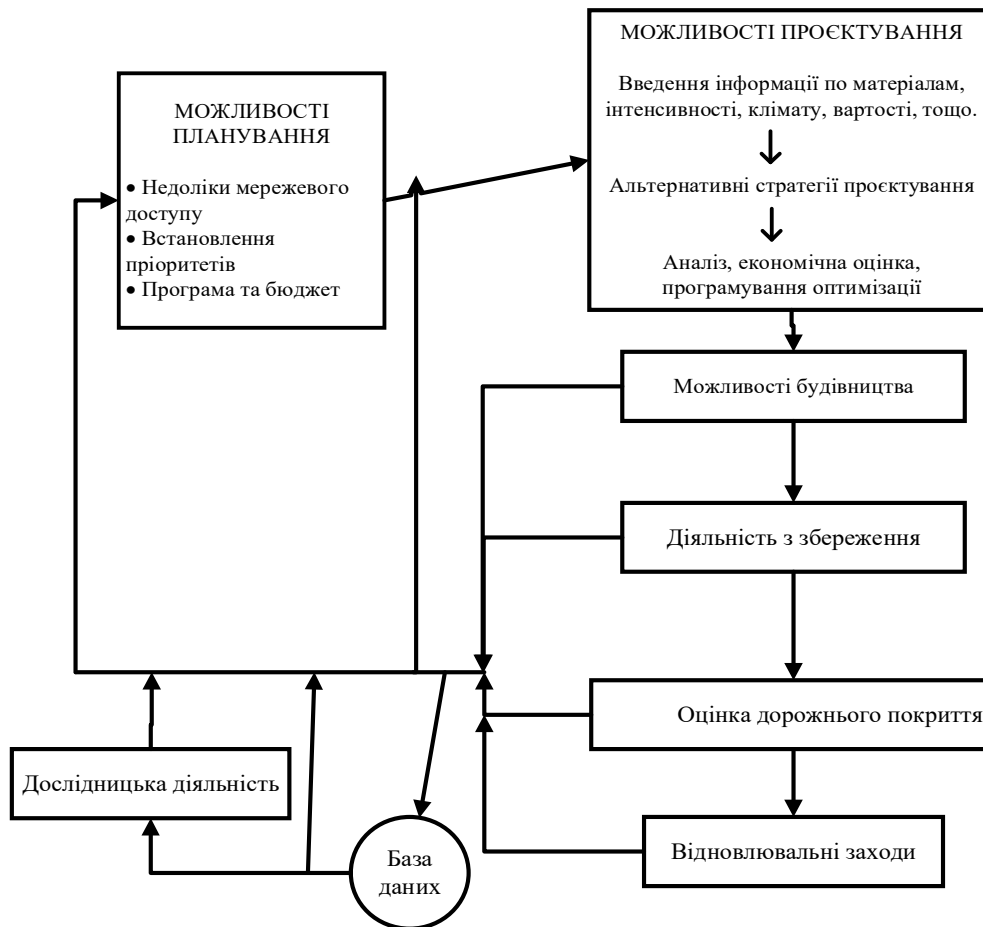


Рисунок 1.2 – Основні види діяльності в системі управління дорожнім покриттям

Figure 1.2 – Major Classes of Activities in a Pavement Management System

На рис. 1.3 показано, що «проєктування покриття» — це в першу чергу діяльність на рівні проєкту, оскільки зазвичай вона не виконується, доки не буде виділено бюджет і встановлено програми.

APMS допомагає в управлінні аеропортами приймати економічно ефективні рішення, пов'язані з конкретними програмами ремонту та відновлення-реконструкції, налаштовуючи оптимальні терміни та розуміючи довгострокові наслідки цих рішень, інтегрованих у розподіл фінансування [2, 3]. Зокрема, умови аеродромного покриття неухильно поліпшуються з моменту впровадження APMS з виготовленням та накопиченням бази даних серед різних штатів США [4]. APMS має систематичну та документально підтверджену інженерну основу для визначення потреб відновлення-реконструкції, включаючи врахування майбутніх операційних потреб у проєктах розширення аеропортів. В системі використовують вартість життєвого циклу та виявлення впливу на аеродромне покриття і документацію нинішніх та майбутніх станів. Крім того, можна визначити вимоги до бюджету та забезпечити оптимальні плани ремонту в рамках бюджету. Застосовуючи економічно ефективне рішення в належний час, стан аеродромного покриття покращується, і таке систематичне обстеження виключає дорогий капітальний ремонт чи реконструкцію і, таким чином, збільшує термін служби аеродромного покриття [13].

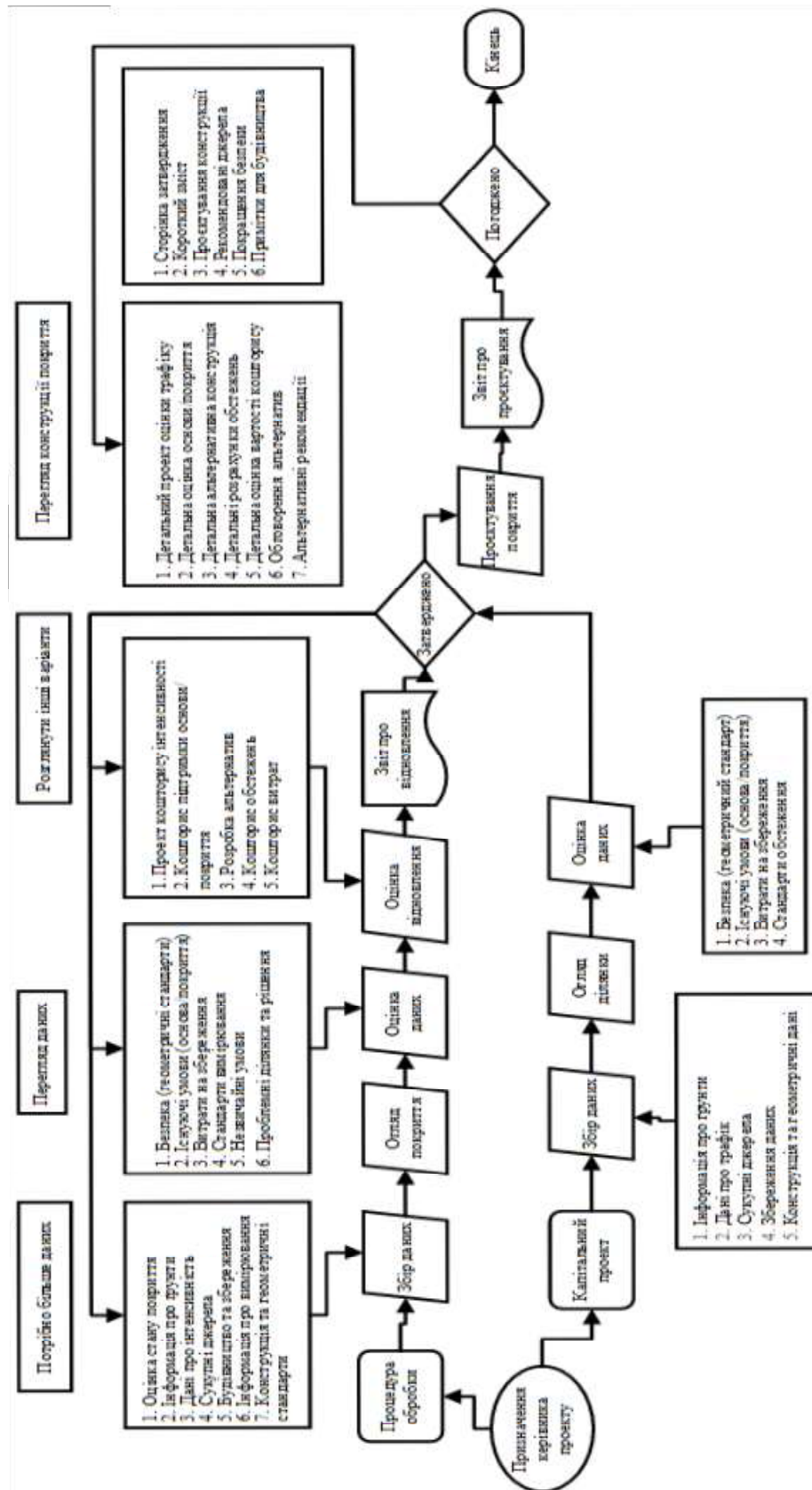


Рисунок 1.3 - Схема процесу проектування покриття
 Figure 1.3 - Surfacing Design Process Chart

Витрати, необхідні для створення APMS, пов'язані з установкою комп'ютерного обладнання та відповідного програмного забезпечення, включаючи експертні та трудові витрати. Після цього пов'язані з цим витрати - це інвентаризація та збір даних, аналіз цих зібраних даних, оцінка стану аеродромного покриття, запуск та створення бази даних. Деякі регулярні витрати на технічне обслуговування потрібні для оновлення бази даних для експлуатації та обслуговування APMS з ключовим персоналом. Крім того, забезпечення навчання як співробітників, так і підвищення кваліфікації для їх професійного розвитку також викликає додаткові витрати [8].

Аеропорти в основному розділені на дві основні зони, які є сухопутними та злітно-посадковими. Покриття аеродрому складаються з однієї або декількох злітно-посадкової смуги, руліжних доріжок та перонів, які розглядаються в зоні злітно-посадкового парку [14]. Заходи аеропортів з експлуатації та технічного обслуговування аеродромного покриття забезпечують вигоду та підтримуються даними, що містяться в APMS.

Щоб повною мірою скористатися перевагами APMS, інформація про стан аеродромного покриття повинна збиратися та постійно оновлюватися, щоб дані залишалися актуальними. Альтернативні стратегії відновлення-реконструкції повинні бути визначені разом з критеріями прийняття рішень та політикою підтримки, яка визначатиме, які ремонтні процедури використовуються. Крім того, APMS вимагає моделей для прогнозування продуктивності, вартості альтернативних стратегій та оптимізаційних процедур, які враховують весь життєвий цикл аеродромного покриття.

APMS для досягнення цих цілей включає такі особливості, як систематизований засіб збору та зберігання інформації щодо існуючої структури аеродромного одягу та стану аеродромного покриття, об'єктивну і повторювану систему оцінки стану аеродромного покриття, процедури прогнозування майбутнього стану аеродромного покриття, процедури моделювання як минулих, так і майбутніх умов експлуатації аеродромного покриття, процедури визначення бюджетних вимог для досягнення цілей управління, такі як бюджет ремонту, необхідний для підтримки аеродромного покриття на визначеному рівні індексу стану аеродромного покриття (PCI), або бюджет ремонту, необхідний для підвищення до цільового рівня PCI, процедури формування та визначення пріоритетів проектів ремонту.

Більш детально до складових APMS відносяться:

1. База даних. Є кілька елементів, критично важливих для встановлення відповідного стану аеродромного покриття, рішення про інвентаризацію аеродромного покриття; конструкцію аеродромного одягу; історія ремонтів, включаючи витрати; відомості про стан аеродромного покриття; і дані про трафік. Ці дані можуть зберігатися в базі даних APMS.

2. Інвентаризація аеродромного одягу. Розташування всіх злітно-посадкових смуг, руліжних доріжок та перонів; габарити; тип аеродромного покриття; рік будівництва та останні капітальні відновлення-реконструкції; а також чи були використані кошти на будівництво, реконструкцію або ремонт аеродромного покриття.

3. Конструкція аеродромного одягу. Знання того, коли спочатку було побудовано аеродромне покриття, структурний склад (матеріал і товщина), а також подальші витрати, ремонти тощо, є ключовим для аналізу проблем і проектування рішень. Записи повинні надавати цю інформацію. Якщо вони відсутні може виникнути необхідність проведення неруйнівного або руйнівного контролю для визначення товщини та складу існуючих шарів аеродромного покриття. Додаткова інформація щодо конструктивного навантаження аеродромного покриття, що несе, наприклад, номер класифікації аеродромного покриття (PCN), може бути корисною.

4. Історія ремонтів. Історія всіх виконаних ремонтів та його вартості, інформацію про ефективність різних процедур ремонту на покриттях. Аеропорт також повинен відстежувати та документувати рутинні заходи з технічного обслуговування, включаючи типи та тяжкість проблем, тип робіт, кількість та вартість виконаних робіт, щоб допомогти визначити ефективність різних стратегій технічного обслуговування та відновлення-реконструкції в рамках APMS.

5. Дані про стан аеродромного покриття. Фундаментальною складовою будь-якої APMS є можливість відстеження стану аеродромного покриття. Для цього потрібен процес оцінки, який є об'єктивним, систематичним і повторюваним. Система оцінки стану аеродромного покриття, така як рейтингова система PCI (стандартний метод випробувань для встановлення індексу стану аеродромного покриття аеропорту) надає оцінку стану поверхні аеродромного покриття з виявленням конструктивних характеристик. Регулярний збір даних про стан аеродромного покриття має важливе значення для відстеження показників аеродромного покриття, моделювання аеродромного покриття та визначення того, коли планувати ремонти. Зміни умов аеродромного покриття, як це задокументовано в планових оглядах аеродромного одягу, можуть вимагати необхідності більш детального обстеження PCI, оскільки структурний стан аеродромного покриття не може бути визначений виключно з візуального обстеження.

6. Дані про трафік. Дані про поточні та майбутні експлуатаційні потреби, включаючи злітно – посадкові операції та тип повітряного судна що діють на аеродромне покриття, є корисними при аналізі ймовірних причин погіршення та при оцінці альтернативних процедур ремонту.

7. Прогнозування поточного та майбутнього стану аеродромного покриття. Система APMS має бути здатною прогнозувати поточний і майбутній стан аеродромного покриття. Прогнози стану необхідні для розробки оптимальних, довгострокових планів ремонту. На погіршення аеродромного покриття впливає багато факторів, включаючи навколишнє середовище, стан поверхні, стан конструкції, здійснення транспортних операцій тощо. Загальний стан аеродромного покриття не може бути визначений виключно за результатами перевірок аеродромного покриття.

8. Визначення оптимальних ремонтних планів для заданого бюджету. APMS повинна бути здатною створити оптимальний план ремонту, який визначає, де і коли потрібні ремонти і приблизно скільки це буде коштувати. Ці дані допоможуть визначити пріоритети, які відповідають заздалегідь визначеним бюджетам ремонтів.

9. Визначення бюджетних вимог для задоволення цілей управління. APMS повинна бути здатною визначати бюджетні вимоги для досягнення визначених цілей управління. Типові цілі управління включають підтримку аеродромного покриття вище визначеного стану або усунення основних вимог ремонтів протягом певної кількості років.

10. Сприяння формулюванню та розстановці пріоритетів проектів ремонтів. На додаток до розробки оптимальних планів ремонту на мережевому рівні, APMS має сприяти розробці та плануванню проектів ремонту. Інженерне рішення, однак, залишається ключовим компонентом у перетворенні оптимальних планів ремонту в практичні виконувані проекти.

Ефективне управління системою аеродромного одягу вимагає прийняття рішень на двох рівнях: мережевому та проектному. Програмне забезпечення APMS (версія 3.0) може використовуватися для допомоги у прийнятті рішень щодо утримання, ремонту чи реконструкції покриття.

В управлінні мережевим рівнем відповідають на питання про короткострокові та довгострокові бюджетні потреби, загальний стан мережі (поточний та майбутній), а також заходи, які необхідно розглянути на проектному рівні. Оцінка рівня мережі може бути використана для оптимізації фінансування та визначення пріоритетів методів ремонту, щоб приймати рішення щодо управління всією мережею аеродромного покриття. Наприклад, візуальне обстеження, може включати всі типи покриття і всі аеродромні одяги в системі аеропортів при використанні програмного забезпечення APMS на мережевому рівні. На додаток до надання автоматизованого інструменту для зберігання інформації про конкретні покриття, програмне забезпечення APMS включає в себе можливість створювати стандартні та індивідуальні звіти, визначені користувачем. Ці звіти можуть допомогти користувачеві прийняти рішення щодо планування перевірок покриттів, які потребують відновлення-реконструкції, прогнозування бюджету, проектів поточного технічного обслуговування, поточного стану аеродромного покриття та прогнозів майбутнього стану.

Прогнозування стану використовується як основа для розробки графіків обстеження та виявлення покриттів, які потребують технічного обслуговування або відновлення-реконструкції. Після того, як будуть визначені покриття, що потребують майбутніх робіт, може бути розроблений бюджет на поточний рік або кілька років у майбутньому. Використовуючи схему визначення пріоритетів управління аеропортом, політику технічного обслуговування та витрати на ремонт, а потім порівнюючи бюджет із фактичними коштами, наявними на поточний рік, програмне забезпечення створює список потенційних проектів.

В управлінні на рівні проекту приймаються рішення про найбільш економічно вигідні альтернативи ремонту для аеродромних покриттів, виявлених при аналізі мережі. Однак фактори можуть змінити оптимальну стратегію ремонту між часом останнього APMS і фактичною розробкою проекту. На цьому рівні кожне зазначене аеродромне покриття повинно мати новий детальний стан обстеження. Проект, як правило, складається з декількох секцій аеродромного покриття і може включати різні способи ремонту для різних секцій. Вимірювання шорсткості і зчеплення можуть бути корисними для розробки проекту. Неруйнівні або руйнівні випробування можуть знадобитися для визначення вантажопідйомності дорожньої конструкції.

При використанні програмного забезпечення APMS на проектному рівні. Програмне забезпечення APMS може використовувати ряд інженерних вимірювань для кількісної оцінки стану аеродромного покриття. Дані неруйнівних випробувань, вимірювання коефіцієнта зчеплення, вимірювання шорсткості та інформація про дренаж можуть бути внесені до бази даних APMS. Ця інформація використовується для виявлення можливих альтернатив, здатних виправити існуючі недоліки. Різні виявлені альтернативи, включаючи відсутність дій, потім порівнюються на основі вартості життєвого циклу. Результати, у поєднанні з бюджетними ресурсами та обмеженнями, дають програму технічного обслуговування та ремонту поточного року.

Вимірювання шорсткості може бути корисним, коли є причини, як правило, у вигляді частих скарг пілотів. Вимірювання шорсткості має більшу цінність, коли аеродромне покриття знаходиться в дуже хорошому стані практично без руйнувань. Воно має меншу цінність, якщо реконструкція неминуха.

Вимірювання рівності та шорсткості повинні проводитися на періодичній основі для вимірювання IRI та коефіцієнта зчеплення аеродромного покриття злітно-посадкової смуги внаслідок накопичення забруднень, головним чином гумових, на поверхні аеродромного покриття; і механічно-зносно-полірувальна дія від перекочування або гальмування авіаційних шин по дорожньому покриттю.

Існує безліч звітів, які можна розробити за допомогою даних APMS. Програмне забезпечення APMS може допомогти в процесі прийняття рішень, дозволяючи користувачеві запускати стандартні та індивідуальні звіти. Програмне забезпечення APMS дозволяє користувачеві налаштовувати звіти так, щоб вони включали лише стан покриття або задавати умови, що мають інтерес для інженерів та управлінців, а також створювати різні сценарії бюджету/стану. Зазвичай звіти включають наступне:

➤ Інвентаризаційний звіт. Цей звіт містить список усіх покриттів у мережі та інформація, така як тип поверхні, локація, площа та функція аеродромного покриття, тобто злітно-посадкова смуга, рульова доріжка, перон.

➤ Звіт про планування інспекції. Цей звіт дозволяє користувачеві планувати перевірки виходячи з мінімально допустимих рівнів стану і темпів погіршення. APMS повинна мати щорічні детальні перевірки та включати положення про менш комплексні щоденні, щотижневі та щомісячні перевірки. Аеропорти, зобов'язані виконувати детальну перевірку покриттів аеродромів не рідше одного разу на рік для APMS. Якщо виконується індекс стану аеродромного покриття (PCI) при стандартному методі випробувань для обстежень індексу стану аеродромного покриття аеропорту, частота детальних перевірок обстежень PCI може бути продовжена до трьох років. Перевірки APMS є доповненням до звичайних перевірок ремонтів для виконання.

Для оцінки стану покриття в Японії використовують індекс реконструкції покриття (Pavement Rehabilitation Index (PRI)), що визначається за формулою [26]:

$$PRI = 10 - 0,450 \cdot CR - 0,0511 \cdot RD - 0,655 \cdot SV,$$

де, CR – розповсюдження тріщин, %; RD – глибина колії, мм; SV - нерівність, мм.

➤ Звіт про стан аеродромного покриття. Цей звіт надає користувачеві таблицю стану аеродромного покриття на поточний і майбутній роки. У звіті наводиться стан окремих ділянок аеродромного покриття та загальний стан мережі. Прогнозований стан використовується для допомоги в плануванні майбутніх потреб у технічному обслуговуванні та ремонті, а також для інформування керівництва про поточні та майбутні умови.

➤ Звіт про бюджетне планування. Цей звіт дозволяє користувачеві проектувати необхідні бюджети до мережі аеродромного покриття заданого користувачем рівня якісного стану. По кожному обраному дорожньому покриттю звіт містить прогноз на рік, в якому буде досягнуто мінімального стану або PCI і розраховує вартість ремонту. Звіт про планування бюджету повинен включати як поточні заходи з технічного обслуговування, заходи зі збереження аеродромного покриття, так і основні заходи з відновлення-реконструкції на певний період планування.

➤ Звіт про технічне обслуговування мережі. У цьому звіті використовується стратегія обслуговування аеропорту, яка зберігається в базі даних і надає вирішення проблем, виявлених в останньому визначенні PCI.

➤ Звіт з економічного аналізу. Цей звіт може допомогти користувачеві вибрати найбільш економічно вигідну альтернативу для ремонту аеродромного покриття. Для кожної можливої альтернативи користувач повинен ввести початкові витрати, періодичні витрати на технічне обслуговування (наприклад, щорічну герметизацію тріщин), майбутні витрати на технічне обслуговування (наприклад, обробку поверхні відновлювальними складами), процентні ставки та ставки дисконтування. Програма виконує аналіз вартості життєвого циклу та надає користувачеві засіб порівняння ефективності різних альтернатив ремонту. Програма дозволяє користувачеві змінювати процентні ставки, витрати на ремонт і терміни, щоб їх вплив на альтернативи можна було проаналізувати.

➤ Інші звіти. Виходячи з місцевих потреб та умов, інші звіти можуть бути корисні.

При розробці APMS аеропорти можуть використовувати будь-який з декількох існуючих варіантів програмного забезпечення. Програмне забезпечення APMS дозволяє зберігати історію стану аеродромного покриття, дані неруйнівного контролю, а також історію будівництва та технічного обслуговування, включаючи дані про вартість. Програмне забезпечення APMS надає багато можливостей, включаючи оцінку поточного стану, прогнозування майбутнього стану, виявлення потреб ремонту, планування інспекцій, економічний аналіз та бюджетне планування. Програмне забезпечення APMS може бути адаптоване до кожного аеропорту на основі минулих характеристик та альтернатив.

1. PAVER™.

PAVER™ - це додаток APMS, розроблений Лабораторією інженерних досліджень будівництва армії США, спонсором якої є FAA. Розробка та оновлення TM PAVER підтримується FAA, Федеральним управлінням автомобільних доріг, Армією США, США AIR Force, і ВМС США для задоволення поточних потреб користувачів. TM PAVER надає можливості з управління дорожнім покриттям для розробки та організації інвентаризації аеродромного покриття, оцінки поточного стану аеродромного одягу, розробленні моделі прогнозування майбутнього стану, переведенні на минулі та майбутні показники аеродромного покриття, розробленні варіантів для ремонту на основі вимог бюджету або умов планування проектів.

2. FAA PAVEAIR.

FAA PAVEAIR - це веб-APMS аеропорту, що використовує концепцію, спочатку розроблену в PAVER™, яка надає користувачам історичну та поточну інформацію про будівництво, технічне обслуговування та управління покриттям аеропорту. Програма пропонує користувачам інструмент планування, здатний моделювати деградацію поверхні аеродромного покриття аеропорту через зовнішні ефекти, такі як інтенсивність руху та навколишнє середовище.

3. Інше програмне забезпечення APMS.

Різні фірми розробили подібне програмне забезпечення, використовуючи концепцію, спочатку розроблену в PAVER™, яка надає послуги з оцінки аеродромного покриття та управління ним. Будь-яке програмне забезпечення, яке відповідає мінімальним вимогам до APMS є застосованим.

Система моніторингу (періодичного візуального огляду та інструментального обстеження) реакції аеродромного покриття на рух повітряних суден потребує розгляду та оцінки багатьох фізичних властивостей (об'єктивні характеристики) та/або показники експлуатаційного стану (суб'єктивні характеристики) у часі [16]. однак, економічні, технічні та логістичні проблеми обмежують їх кількість. З цією метою прийнята APMS використовувала деякі високопродуктивні вимірювальних пристроїв, щоб мінімізувати кількість транспортних засобів і персоналу в обстеженнях виявлення для раціонального періоду. Посібник з аеропортових послуг ICAO [17] надає ці пристрої та допускає візуальні дослідження для виявлення поверхневих руйнувань. Рекомендованими параметри покриття є такі:

- несна спроможність за класифікаційним числом повітряного судна (ACN) і класифікаційним числом покриття (PCN) [18] отримується з вимірювання чаші прогину установкою з падаючим вантажем (FWD або HWD) [16, 19];
- рівність поздовжньої поверхні дорожнього одягу за Міжнародним індексом нерівності (IRI) [20], відхиленням при вимірюванні рухомою лінійкою (RSE) [21, 22] чи нерівності за 3 – х метровою рейкою;
- поперечна рівність дорожнього покриття з точки зору колійності (RUT), отримана за допомогою багатофункціонального транспортного засобу для дослідження покриття [23];
- опір ковзанню, вимірний згідно з [17], консультативним циркуляром FAA AC/150-5320-12C [24] та циркуляром Управління цивільної авіації Італії [25];
- пошкодження покриття за індексом стану покриття (PCI) [14, 26].

У таблиці 1 наведено рекомендовану частоту перевірок покриттів у аеропорту: функціональний стан слід перевіряти кожні 36–48 місяців, а несучу здатність – кожні 60 місяців.

Для кожного параметра, переліченого в таблиці 1, необхідне визначення допустимих значень параметрів, для різних ділянок аеродромного покриття.

Необхідне створення каталогу дефектів та руйнувань аеродромного покриття з визначенням ступеня їх розвитку.

Таблиця 1 - Періодичність огляду та випробування аеродромного покриття
Table 1 - Periodicity of inspection and testing of the airfield pavement

Покриття	Частота перевірок покриттів (роки)			
	Рельєф і перевірка макротекстури ETD	Поздовжня та поперечна рівномірність RU, RUT, RSE	Показник стану покриття PCI	Несна спроможність PCN
ЗПС	3	3	3	5
Рульова доріжка	-	4	3	5

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.

Це дослідження має на меті надати огляд APMS для глибоких знань та розуміння його успішної реалізації. Система управління аеродромним покриттям (PMS) є корисним інструментом, що включає систематичну процедуру збору, аналізу, обслуговування та звітності про умови аеродромного покриття і, таким чином, допомагає аеропортам знайти оптимальні економічно ефективні ремонти для їхньої мережі аеродромного покриття. Важливими компонентами APMS є компіляція баз даних, історія будівництва та ремонту, вбудовані записи для аналізу рішень, хронологічна історія технічного

обслуговування аеродромного покриття та історія відновлення, поточні дані про майбутній трафік. Комп'ютеризована програмна програма є невід'ємною частиною цієї системи для обчислення точного аналізу та надання пропозицій щодо стратегій ремонту. Прогнозуючи швидкість погіршення, можна провести аналіз вартості життєвого циклу для різних альтернатив, щоб визначити оптимальний час для застосування найкращої альтернативи ремонту та уникнути більш високих витрат на ремонт у майбутньому. APMS не може дати остаточного рішення; а лише передає сценарії альтернатив і вказує на можливі наслідки, щоб зацікавлена експертиза могла застосувати відповідні, економічно-ефективні рішення для своєчасного впровадження.

Різні показники стану аеродромного покриття використовуються для оцінки стану аеродромного покриття та встановлення пріоритетного рейтингу ремонтних заходів. PCI є найбільш прийнятним індексом, який використовує візуальний огляд для оцінки стану в США та багатьох інших країнах.

Міжнародний індекс шорсткості (IRI) широко застосовується Федеральною системою моніторингу продуктивності автомобільних доріг у США. Різні аеропорти переходять в бік APMS від традиційної системи технічного обслуговування. Потрібні додаткові дослідження та розробки в управлінні покриттям аеропорту, оскільки існує недостатньо інформації щодо APMS про різні аеропорти у всьому світі.

Дослідження забезпечило всебічний збір інформації, необхідної для впровадження APMS. Отже, експлуатанти аеропортів знаходяться в набагато більш поінформованому становищі для прогнозування майбутніх вимог до технічного обслуговування аеродромного покриття для належного підтримання відповідних умов аеродрому. Огляд виявив, що на відміну від PMS для доріг, література про APMS для аеропортів по всьому світу досить обмежена, а також дуже мало публікацій, що стосуються моделювання погіршення стану аеродромного покриття аеродрому (моделі деградації) в APMS.

Відсутність системи управління станом аеродромного покриття не дозволяє раціонально здійснювати планування ремонтів як окремих аеродромів, так і їх системи в межах держави з метою оптимального використання фінансових ресурсів, встановлення можливості приймання ПС, в тому числі і в умовах воєнного стану. Тому назріла необхідність розроблення та впровадження такої системи для умов України.

Перелік посилань

1. HDM-4 Technical User Guide. Part C: Analysis Tools. C-3 [Електронний ресурс] // Strategy Analysis, 1998. – 17 p.p. - Режим доступу: http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/08_evaluation/08_management.htm#pms.
2. Fourth Highway Development and Management Model (HDM-4) road use costs model documentation (English). Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/793271468171847482/Fourth-Highway-Development-and-Management-Model-HDM-4-road-use-costs-model-documentation>
3. Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М., Андреев С.І. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник. Київ, 2001. Вип. 62. С. 76-80.
4. Кизима С.С., Лихоступ М.М. Рекомендації по використанню СУСП для планування ремонтних робіт. Київ : Укравтодор. 2002. 18 с.
5. Канін О. П., Соколова Н.М., Харченко А.М., Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством на основі веб-технології // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - 2016. - Вип. 95. - С. 129-142. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/adidb_2016_95_15.
6. Харченко А.М., Канін О.П., Соколова Н.М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг// Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія, 2013. С. 195-207.

7. P. Di Mascio, L. Moretti, Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces, *Case Studies Constr. Mater.* 11 (2019) e00251.
8. M. Qabaja, A. Labeedi, An investigation of the airport pavement management system (APMS), *Inter. J. Adv. Eng. Sci. App.* 1 (1) (2020) 27-33.
9. S. L. Tighe, M. Covalt, Implementation of an airport pavement management system, *Transp. Res. Circular (E-C127)* (2008).
10. M. Broten, C. Comer, A. Muntasir, State airport pavement management practices and the impact on pavement condition, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia, 2004.
11. M. M. Rahman, Alternatives to PCI and MicroPAVER based maintenance solutions for airport pavements, (Master thesis), University of New Mexico, NM, USA, 2013 https://digitalrepository.unm.edu/ce_etds/73.
12. G. Chai, R. Bartlett, G. Kelly, L. Yang, L., E. Oh, Model for Benchmarking Pavement Maintenance Budget for Sustainable Road Transport Infrastructure, *Geotechnical Special Publication*, Geo-China, Shandong, China, 2016, pp. 180-187.
13. AASHTO Design of Pavement Structures, 1993.
14. Federal Aviation Administration, Airport Pavement Management Program (PMP). Advisory Circular 150/5380-7B. FAA, Washington, USA, 2014.
15. Yoshitaka HACHIYA, Takashi WATANABE and Kentaro KITAOCHI Quantification of changes in surface conditions of airport pavements in Japan // Service Center of Port Engineering (SCOPE), JAPAN. http://ssms.jp/img/files/2019/04/sms10_104.pdf.
16. S. G. de Oliveira, A. Tibaut, G. Dell'Acqua, Airport Pavement Management Systems: An Open BIM Approach, *International Symposium on Asphalt Pavement & Environment*, Padua, Italy, 2019, pp. 450-459.
17. Гамеляк І.П., Дмитриченко А.М., Райковський В.Ф. Удосконалення методики оцінювання стану аеродромного покриття. X Всесвітній конгрес "Авіація у XXI столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології". Національний авіаційний університет. Київ. 28-30 вересня 2022 р. С. 9.1.15 – 9.1.20. <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/paper/viewFile/8663/71>
18. ICAO, Airport Services Manual Part 2 Pavement Surface Conditions, International Civil Aviation Organization, Montreal, QC, Canada, 2002.
19. Federal Aviation Administration, AC 150/5335-5C, Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength—PCN, Federal Aviation Administration, Washington, WA, USA, 2014.
20. Dynatest FWD/HWD Test Systems; Owners Manual; Dynatest: Søborg, Denmark, 2014.
21. ASTM E1926-08, Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads From Longitudinal Profile Measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
22. ICAO, Annex 14, Volume I Aerodromes, International Civil Aviation Organization, Montreal, QC, Canada, 2013.
23. ASTM E1703/M-95, Standard Test Method for Measuring Rut-depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
24. M. Barbarella, F. D'Amico, M.R. De Blasiis, A. Di Benedetto, M. Fiani, Use of terrestrial laser scanner for rigid airport pavement management, *Sensors* 18 (2018). 44 p.
25. Federal Aviation Administration, AC 150/5320-12C— Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces, Federal Aviation Administration, Washington, DC, USA, 2016.
26. Italian Civil Aviation Authority. Criteri per la valutazione delle condizioni superficiali di una pista; APT 10 30/10/14.

AIRFIELD PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM OF TECHNICAL AND OPERATING FACILITY

Gameliak Igor P., Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

Dmytrychenko Andij M., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, <https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>.

Abstract. The article explores an overview of APMS to understand its successful implementation. Once an airport pavement has been opened to traffic, proper maintenance and rehabilitation work is essential to maintain the pavement's functionality at a satisfactory level and extend its service life. Maintenance and restoration-reconstruction strategies were tentatively based on the empirical and subjective judgments of airport administration employees. This required a systematic method of performing maintenance and restoration-reconstruction works, i.e. the Airport Pavement Management System (APMS). Some APMS subsystems have been developed through the exchange of ideas, information and resources and are entering practical use.

Based on various airport pavement studies, such as surface condition assessment studies, structural evaluations, failure and serviceability predictions, and maintenance and rehabilitation strategies, design, assessment and rehabilitation procedures have been developed that form the subsystems of the complete APMS.

The maintenance and recovery subsystem of the airport pavement management system consists of three phases: the inspection and maintenance phase, the reliability evaluation phase, and the recovery optimization phase.

Key words: airport pavement management system, airport pavements, maintenance, construction design, software, indicators of surface condition.

References

1. HDM-4 Technical User Guide. Part C: Analysis Tools. C-3 [Elektronnyi resurs] // Strategy Analysis, 1998. – 17 p.p. - Rezhym dostupu: http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/08_evaluation/08_management.htm#pms.
2. Fourth Highway Development and Management Model (HDM-4) road use costs model documentation (English). Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/793271468171847482/Fourth-Highway-Development-and-Management-Model-HDM-4-road-use-costs-model-documentation>
3. Kyzyma S.S., Kanin O.P., Lykhostup M.M., Andrieiev S.I. Zahalna kharakterystyka ukrainskoi systemy upravlinnia stanom nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv. Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kyiv, 2001. Vyp. 62. S. 76-80.
4. Kyzyma S.S., Lykhostup M.M. Rekomendatsii po vykorystanni SUSP dlia planuvannia remontnykh robot. Kyiv : Ukravtodor. 2002. 18 s.
5. Kanin O. P., Sokolova N.M., Kharchenko A.M., Informatsiino-analitychna systema upravlinnia dorozhnim hospodarstvom na osnovi veb-tekhnologii // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. - 2016. - Vyp. 95. - S. 129-142. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/adidb_2016_95_15.
6. Kharchenko A.M., Kanin O.P., Sokolova N.M. Systema upravlinnia stanom dorih za pokaznykom rivnia obsluhovuvannia v dovhostrokovykh kontraktakh z potochnoho dribnoho remontu ta utrymannia dorih// Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohystyka. Tekhnichna seriia, 2013. C. 195-207.
7. P. Di Mascio, L. Moretti, Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces, Case Studies Constr. Mater. 11 (2019) e00251.

8. M. Qabaja, A. Labeedi, An investigation of the airport pavement management system (APMS), *Inter. J. Adv. Eng. Sci. App.* 1 (1) (2020) 27-33.
9. S. L. Tighe, M. Covalt, Implementation of an airport pavement management system, *Transp. Res. Circular (E-C127)* (2008).
10. M. Broten, C. Comer, A. Muntasir, State airport pavement management practices and the impact on pavement condition, 6th International Conference on Managing Pavements, Queensland, Australia, 2004.
11. M. M. Rahman, Alternatives to PCI and MicroPAVER based maintenance solutions for airport pavements, (Master thesis), University of New Mexico, NM, USA, 2013 https://digitalrepository.unm.edu/ce_etds/73.
12. G. Chai, R. Bartlett, G. Kelly, L. Yang, L., E. Oh, Model for Benchmarking Pavement Maintenance Budget for Sustainable Road Transport Infrastructure, Geotechnical Special Publication, Geo-China, Shandong, China, 2016, pp. 180-187.
13. AASHTO Design of Pavement Structures, 1993.
14. Federal Aviation Administration, Airport Pavement Management Program (PMP). Advisory Circular 150/5380-7B. FAA, Washington, USA, 2014.
15. Yoshitaka HACHIYA, Takashi WATANABE and Kentaro KITAOCHI Quantification of changes in surface conditions of airport pavements in Japan // Service Center of Port Engineering (SCOPE), JAPAN. http://ssms.jp/img/files/2019/04/sms10_104.pdf.
16. S. G. de Oliveira, A. Tibaut, G. Dell'Acqua, Airport Pavement Management Systems: An Open BIM Approach, International Symposium on Asphalt Pavement & Environment, Padua, Italy, 2019, pp. 450-459.
17. Gameliak I.P., Dmytrychenko A.M., Raikovskiy V.F. Udoskonalennia metodyky otsiniuvannia stanu aerodromnoho pokryttia. X Vsesvitnii konhres "Aviatsiia u XXI stolitti" – "Bezpeka v aviatsii ta kosmichni tekhnolohii". Natsionalnyi aviatsiinyi universytet. Kyiv. 28-30 veresnia 2022 r. S. 9.1.15 – 9.1.20. <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/ Congress2022/paper/viewFile/8663/71>
18. ICAO, Airport Services Manual Part 2 Pavement Surface Conditions, International Civil Aviation Organization, Montreal, QC, Canada, 2002.
19. Federal Aviation Administration, AC 150/5335-5C, Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength—PCN, Federal Aviation Administration, Washington, WA, USA, 2014.
20. Dynatest FWD/HWD Test Systems; Owners Manual; Dynatest: Søborg, Denmark, 2014.
21. ASTM E1926-08, Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads From Longitudinal Profile Measurements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
22. ICAO, Annex 14, Volume I Aerodromes, International Civil Aviation Organization, Montreal, QC, Canada, 2013.
23. ASTM E1703/M-95, Standard Test Method for Measuring Rut-depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
24. M. Barbarella, F. D'Amico, M.R. De Blasiis, A. Di Benedetto, M. Fiani, Use of terrestrial laser scanner for rigid airport pavement management, *Sensors* 18 (2018). 44 r.
25. Federal Aviation Administration, AC 150/5320-12C— Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces, Federal Aviation Administration, Washington, DC, USA, 2016.
26. Italian Civil Aviation Authority. Criteri per la valutazione delle condizioni superficiali di una pista; APT 10 30/10/14.

Надійшла до редакції 31.05.2023.