

УДК 725.39

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2023.2.4>**Дубик Олександр Миколайович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних  
технологій будівництва та реконструкції аеропортів  
факультету архітектури, будівництва та дизайну,  
Національний авіаційний університет,  
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8082-7603>  
E-mail: [saschadubik@ukr.net](mailto:saschadubik@ukr.net)

**ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ ПОЛОЖЕНЬ ТА МЕТОДИК  
ОЦІНКИ СТАНУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ**

**Анотація.** Розроблена схема системи моніторингу експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів, яка включає у себе: систематичне спостереження за їх станом, оцінювання та прогнозування міцності, довговічності і надійності, а також розробку рекомендацій щодо планування робіт з ремонту (реконструкції) на основі прогнозу стану покриттів.

Розроблена детальна схема системи моніторингу аеродромного покриття, яка являє собою комплекс заходів, які дозволяють дати загальну об'єктивну оцінку його експлуатаційно-технічного стану.

Наведена схема процесу моделювання зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття.

Наведена схема системи управління технічним станом аеродромного покриття, яка включає у себе: дані про фактори впливу на аеродромне покриття, дані про стан покриття, експлуатаційно-технологічні впливи та вплив військового вторгнення.

**Ключові слова:** аеродроми, приаеродромні території, транспортно-експлуатаційний стан, аеродромні покриття, аеродромний комплекс.

**Dubyk Oleksandr. ON THE RELEVANCE OF DEVELOPING PROVISIONS AND METHODS  
FOR ASSESSING THE CONDITION AND RESTORATION OF AIRFIELD SURFACES**

**Abstract.** The scheme of the system for monitoring the operational and technical condition of airfield surfaces has been developed, which includes: systematic monitoring of their condition, assessment and forecasting of strength, durability and reliability, as well as the development of recommendations for planning repair (reconstruction) works based on the forecast of the condition of the surfaces.

Based on the analysis of current regulatory documents, a detailed scheme of the airfield surface monitoring system was developed, which is a set of measures that make it possible to give a general objective assessment of its operational and technical condition.

The diagram of the process of modeling the change in the operational and technical state of the airfield surface is given.

The diagram of the system for managing the technical condition of the airfield surface is presented, which includes: data on the factors affecting the airfield surface, data on the condition of the surface, operational and technological impacts, and the impact of military invasion.

**Key words:** airfields, near-airfield territories, transport and operational condition, airfield surfaces, airfield complex.

**Вступ.** Цивільна авіація України виконує особливу роль. З одного боку, вона є типовою сферою транспорту, що реалізує транспортні послуги населенню, а з іншого – здійснює важливу функцію інтегратора країни, що забезпечує транспортний зв'язок між центром та віддаленими регіонами.

З метою вирішення актуальних питань розвитку аеропортів, реконструкції та роз-

будови аеропортової інфраструктури в повоєнний період в Україні, задоволення потреб національної економіки і населення у авіаційних перевезеннях і підвищення конкурентоспроможності авіаційної галузі України Міністерством інфраструктури України була розроблена «Державна цільова програма розвитку аеропортів на період до 2023 року».

Національна рада з відновлення України від наслідків війни, відповідно до Указу Президента від 21 квітня 2022 року № 266/2022 в рамках 24 робочих груп, розробила план заходів з після-воєнного відновлення та розвитку України. Основним завданням Плану відновлення сфери авіаційного транспорту є відновлення та розвиток авіаційної мобільності населення, транзитного потенціалу повітряного простору України та відновлення вантажних авіаційних перевезень.

**Постановка проблеми.** Загалом з 19 діючих цивільних аеропортів під час війни було зруйновано аеродромні комплекси (злітно-посадкові смуги, будівлі, споруди) у 12 аеропортах України. Орієнтовні збитки аеропортів та аеронавігаційного обладнання України на початок літа 2022 року становлять близько 200 млрд грн. [1].

У матеріалах робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури» проекту Плану відновлення України [1] визначені основні завдання щодо відновлення сфери авіаційного транспорту із зазначенням необхідних заходів для їх реалізації, зокрема:

- відбудова та подальший розвиток аеропортової інфраструктури України;
- модернізація регіональних аеропортів та приведення їхнього технічного стану у відповідність до діючих стандартів та рекомендацій ІКАО з метою обслуговування найбільш поширених типів повітряних суден;
- пріоритезація відповідно до визначених критеріїв проєктів відновлення/будівництва аеропортів;
- забезпечення фінансування відновлення мережі аеропортів України на основі аудиту збитків транспортної інфраструктури;
- створення Фонду розвитку аеропортів як спецфонду Держбюджету.

З огляду на вищенаведене розроблення положень та методик оцінки стану та відновлення несучої спроможності жорсткого та нежорсткого аеродромного покриття та аеродромних конструкцій з урахуванням пошкоджень у результаті вибухів та розривів мін, ракет та снарядів внаслідок воєнного вторгнення в наш час є надзвичайно актуальним.

**Результати.** Україна має у своєму розпорядженні розгалужену мережу аеропортів, розмі-

щених на всій території, відповідно до наявної структури продуктивних сил і регіональних потреб зміцнення міжнародних зв'язків з іншими країнами. Необхідно відзначити, що Україна розташована на перетинанні світових транспортних зв'язків. На відміну від найбільших аеропортів світу, до 24 лютого 2022 р., до моменту вторгнення військ РФ на територію України, функціонувало 20 аеропортів (Державне підприємство «Міжнародний аеропорт Бориспіль», Державне підприємство «Міжнародний аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького, Товариство з обмеженою відповідальністю «Міжнародний аеропорт «Дніпропетровськ», комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Запоріжжя», комунальне підприємство «Миколаївський міжнародний аеропорт» Миколаївської обласної ради, Філія «Міжнародний аеропорт Івано-Франківськ» Товариства з обмеженою відповідальністю «Скорзонера», комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Київ (Жуляни)», комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Кривий Ріг» Криворізької міської ради, комунальне підприємство Міжнародний аеропорт Одеса», обласне комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Рівне», обласне комунальне підприємство «Аеропорт Суми», Закарпатське обласне комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Ужгород», Тернопільське обласне комунальне підприємство «Фірма Тернопільавіотранс», Товариство з обмеженою відповідальністю «Нью системс АМ» (Міжнародний аеропорт Харків), комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Чернівці» імені Леоніда Каденюка», комунальне підприємство Херсонської обласної ради «Херсонські авіалінії», Полтавське обласне комунальне підприємство «Аеропорт-Полтава», комунальне підприємство «Аеропорт Вінниця», комунальне підприємство «Аеропорт Черкаси Черкаської обласної ради», дочірнє підприємство «Міжнародний аеропорт Житомир імені С.П. Корольова» Товариства з обмеженою відповідальністю «Акорд».

Основні характеристики аеропортів України наведені в таблиці 1.

Розробка теоретичних основ і математичних моделей для оцінки експлуатаційного стану аеродромних покриттів, які пошкоджені

внаслідок військової агресії, потребує проведення широких натурних досліджень.

Основним завданням проведення досліджень є отримання статистичної інформації,

що характеризує експлуатаційно-технічний стан пошкоджених аеродромних покриттів, та розробка пропозицій щодо виконання ремонтно-відновлювальних робіт та

Таблиця 1

## Основні характеристики аеропортів України

Найменування підприємства	Власники	Статутний капітал	Дата заснування
Державне підприємство «Міжнародний аеропорт Бориспіль»	Міністерство інфраструктури України	756 521 000	23.03.1993
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Київ (Жуляни)»	Київська міська державна адміністрація	24 443 545, 41	24.06.1999
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Одеса»	Одеська міська рада	13 214 200	15.07.1999
Комунальне підприємство «Аеропорт Черкаси Черкаської обласної ради»	Черкаська обласна рада	20 563 344,55	29.01.2001
Полтавське обласне комунальне підприємство «Аеропорт Полтава»	Полтавська обласна рада	0	10.04.2001
Обласне комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Рівне»	Рівненська обласна рада	2 566 294	20.09.2001
Комунальне підприємство «Аеропорт Вінниця»	Вінницька міська рада	31 198 714,34	04.12.2001
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Кривий Ріг» Криворізької міської ради	Криворізька міська рада	23 572 748, 25	06.12.2001
Закарпатське комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Ужгород»	Закарпатська обласна рада	32 146 400	20.12.2001
Обласне комунальне підприємство «Аеропорт Суми»	Сумська обласна рада	52 221 480,34	25.02.2002
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Чернівці» імені Леоніда Каденюка»	Чернівецька міська рада	86 663 776, 46	16.08.2002
Тернопільське обласне комунальне підприємство «Фірма Тернопільвіаавтотранс»	Тернопільська обласна рада	522 619 145, 142	26.12.2002
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Запоріжжя»	Запорізька міська рада	35 041 942	22.01.2003
Дочірнє підприємство «Міжнародний аеропорт Житомир імені С.П. Корольова»	Товариство з обмеженою відповідальністю «Акорд»	1 483 951, 25	13.08.2003
Державне підприємство «Міжнародний аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького	Міністерство інфраструктури України	776 875 222,62	19.07.2004
Товариство з обмеженою відповідальністю «Нью системс АМ» (Міжнародний аеропорт Харків)	Компанія Доммерн Лімітед (Dommern Limited)	500 000	29.05.2007
Філія «Міжнародний аеропорт Івано-Франківськ» Товариства з обмеженою відповідальністю «Скорзонера»	Товариство з обмеженою відповідальністю «Скорзонера»	–	25.06.2010
Товариство з обмеженою відповідальністю «Міжнародний аеропорт Дніпропетровськ»	Публічне акціонерне товариство «Авіаційна компанія «Дніпроавіа»	180 300 000	16.08.2011
Комунальне підприємство Херсонської обласної ради «Херсонські авіалінії»	Херсонська обласна рада	31 634 702	13.09.2012
Комунальне підприємство «Миколаївський міжнародний аеропорт» Миколаївської обласної ради	Миколаївська обласна рада	88 021 582	09.09.2016
Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Кропивницький»	Кіровоградська обласна рада	1 000	06.12.2021

застосування відповідних матеріалів та технологій.

Особливо важливим є моніторинг стану аеродромних покриттів.

Моніторинг експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів має дуже велике значення для забезпечення надійності та довговічності аеродромних покриттів як інженерних споруд.

Схема системи моніторингу експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів представлена на рисунку 1 та включає у себе систематичне спостереження за їх станом, оцінювання та прогнозування міцності, довговічності і надійності, а також розробку рекомендацій щодо планування робіт з ремонту (реконструкції) на основі прогнозу стану покриттів.

Розроблена детальна схема системи моніторингу аеродромного покриття, яка являє собою комплекс заходів, які дозволяють дати загальну об'єктивну оцінку його експлуатаційно-технічного стану (рис. 1).

Оцінюванню експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів підлягають всі елементи льотного поля аеродрому. Оцінювання експлуатаційно-технічного стану елементів льотного поля аеродрому включає у себе:

- оперативну оцінку експлуатаційної придатності елементів льотного поля та визначення базування повітряних суден та режимів їх експлуатації;
- прогнозування ресурсу аеродромних покриттів і розробку пропозицій стосовно подальшої експлуатації елементів льотного аеродрому, які пошкоджені внаслідок воєнного вторгнення;
- обґрунтування інженерних заходів із забезпечення відповідності аеродромних покриттів

вимогам, спрямованим на збереження чи відновлення їхньої експлуатаційної придатності, обґрунтування необхідності їх реконструкції чи капітального ремонту з урахуванням пошкоджень у результаті вибухів та розривів мін, ракет та снарядів внаслідок воєнного вторгнення.

Оперативна оцінка експлуатаційної придатності елементів льотного поля аеродрому і визначення можливості здійснення на них безпечної експлуатації заданого типу повітряних суден включає у себе:

- кількісну оцінку експлуатаційно-технічного стану поверхні аеродромного покриття;
- якісну оцінку несучої здатності аеродромного покриття.

У випадку, якщо один із критеріїв оцінювання експлуатаційно-технічного стану елементу льотного поля не відповідає вимогам нормативних документів чи умовам експлуатації розрахунковим типом повітряних суден, покриття обстежуваного елемента підлягає ремонту чи підсиленню.

Причинами, на основі яких може бути прийнято рішення про проведення обстеження експлуатаційно-технічного стану елементів льотного поля аеродрому, є:

- встановлення причин інтенсивного зростання кількості пошкоджень на аеродромних покриттях чи передчасного виходу з ладу відремонттованих ділянок у результаті вибухів та розривів мін, ракет та снарядів унаслідок воєнного вторгнення;
- розробка перспективних планів ремонту і реконструкції аеродромних покриттів ЗПС, руліжних доріжок, місць стоянок літаків з урахуванням типів повітряних суден, які базуються на аеродромі;
- склад прогнозу експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів під час

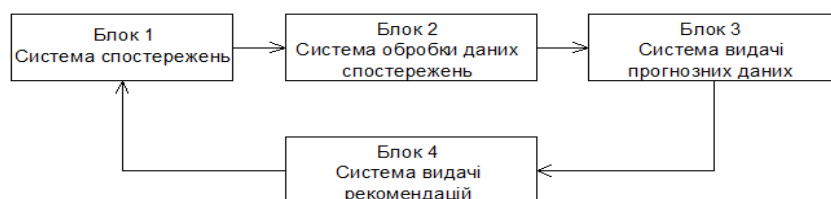


Рис. 1. Схема системи моніторингу експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів

експлуатації їх повітряними суднами, вага і інтенсивність польотів яких перевищують початково прийняті значення у разі проєктування чи реконструкції аеродромів;

– вирішення питань про можливість відновлення елементів льотного поля, пошкоджених у результаті бойових дій [2–7].

Оцінка експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття включає у себе структурну та функціональну оцінку аеродромного покриття.

Структурна оцінка покриття повинна включати такий перелік вишукувань та досліджень:

– детальне обстеження і врахування всіх пошкоджень та дефектів, що накопились за період експлуатації, виявлення причин їх виникнення;

– визначення фізико-механічних характеристик покриття, в тому числі міцності та деформативності матеріалу. Ці характеристики використовуються для функціональної оцінки покриття;

– визначення стану штучної і природної основи під покриттям і їх фізико-механічних характеристик: міцність і щільність, водонасичення і водопроникність, інші фізичні величини і коефіцієнти (постелі, пористості).

Функціональна оцінка покликана встановити на основі вивчення структурних змін у покритті та основі, чи вони повною мірою здатні виконувати свою основну функцію (забезпечення несучої здатності та рівності) у разі відповідних навантажень та інтенсивності руху повітряних суден. Функціональна оцінка включає у себе теоретичні розрахунки класифікаційних чисел і випробування покриттів навантаженням (штампові випробування), в результаті яких встановлюються показники напружено-деформованого стану та несуча здатність покриттів.

Обстеження експлуатаційно-технічного стану елементів льотного поля повинне проводитись у два етапи:

1. Попереднє обстеження проводиться з метою отримання первинної оцінки експлуатаційно-технічного стану елементів льотного поля аеродрому, а також для встановлення необхідності проведення детального обсте-

ження. На основі результатів попереднього обстеження встановлюються мета, завдання та обсяги детального обстеження, розробляються технічне завдання, а за необхідності – і програма детального обстеження.

2. Детальне обстеження проводиться з метою уточнення оцінки несучої здатності конструкцій.

Під час детального обстеження уточнюються результати попереднього обстеження, при цьому:

– визначаються характеристики міцності матеріалів покриття та штучної основи;

– визначаються фізико-механічні характеристики ґрунтів природної основи;

– проводяться випробування покриттів пробним навантаженням;

– виконуються розрахунки несучої здатності покриттів на основі результатів випробувань;

– встановлюються обсяги та способи ремонту пошкоджень покриттів.

Склад робіт з оцінювання експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів, в основному, включає у себе роботи, які можуть виконуватись висококваліфікованими спеціалістами, як правило, науково-дослідних і проєктних організацій, а також навчальних закладів, що спеціалізуються на обстеженнях у сфері аеродромного будівництва.

Оцінку експлуатаційно-технічного стану елементів льотного поля аеродрому необхідно виконувати, розглядаючи кожен елемент комплексно, як систему сумісно діючих об'єктів із заданими функціями – шари покриття, шви, стикові з'єднання, вирівнюючі і розділювальні прошарки, штучна і ґрунтова основи.

У результаті обстеження надається висновок про придатність конструкції до експлуатації чи про необхідність проведення ремонту, розробляються заходи щодо підсилення конструкцій.

Схема процесу моделювання зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття наведена на рис. 3.

Математичною моделлю зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття виступає сукупність формалізованих

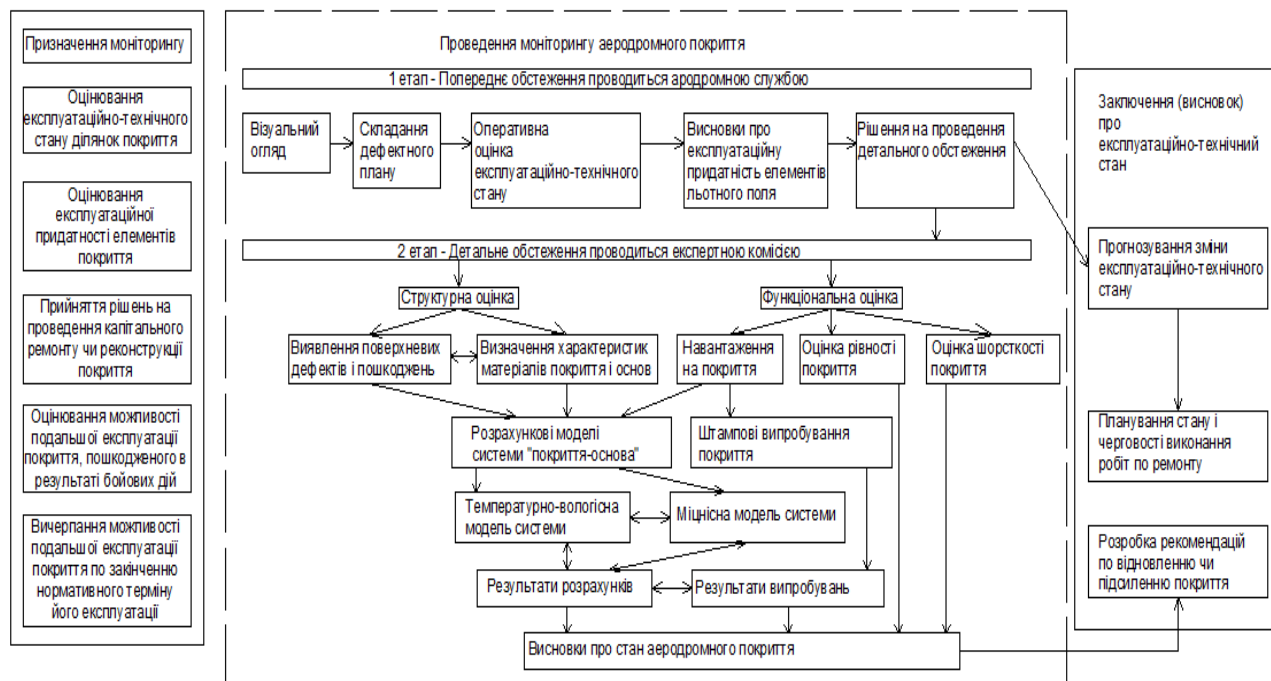


Рис. 2. Схема системи моніторингу експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів

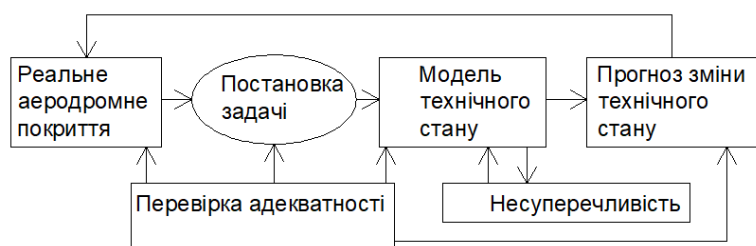


Рис. 3. Схема процесу моделювання зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття

зв'язків, відношень і залежностей між різними його показниками.

Модель аеродромного покриття повинна відображати еквівалентні зміни з часом експлуатаційно-технічного стану з метою знаходження кількості пошкоджених плит, які будуть виявлені в результаті подальшої експлуатації покриття [2–5].

Аеродромне покриття являє собою систему, яка може бути розглянута стосовно зовнішнього середовища. Водночас аеродромне покриття є об'єктом експлуатаційно-технологічного впливу та впливу під час воєнного вторгнення.

Система управління станом аеродромного покриття наведена на рис. 4. Система управління експлуатаційно-технічним станом аеро-

дромного покриття отримує інформацію від середовища, під впливом якого перебуває покриття, і безпосередньо самого аеродромного покриття, тобто об'єкта. Рішення, які сформовані системою управління, потрапляють на аеродромні покриття у вигляді експлуатаційно-технологічних впливів. Система управління експлуатаційно-технічним станом аеродромного покриття будується на основі визначених знань про об'єкт. Вони відображають фундаментальні властивості аеродромного покриття, які не залежать від поточної ситуації.

Нехай аеродромне покриття має  $n$  входів – характеристик його початкового стану як інженерної споруди та  $m$  виходів – показників, що відображають прогнозований

експлуатаційно-технічний стан аеродромного покриття. Позначимо їх відповідно як  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \beta_1$  і  $\beta_2, \dots, \beta_m$ . Ці параметри представлені на рис. 5 як  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ .

Аеродромне покриття можна розглянути як об'єкт управління (рис. 5).

Крім вхідних та вихідних параметрів, а також багатьох допустимих параметрів, які призводять до зміни об'єкта, аеродромне покриття перебуває під впливом природно-кліматичних та механічних впливів.

Список параметрів експлуатаційно-технологічних впливів –  $p_1, p_2, \dots, p_g$ . Список параметрів впливу військового вторгнення –  $z_1, z_2, \dots, z_t$ .

Модель експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття можна представити у вигляді параметрів, які описують процес функціонування реальної системи:

- сукупність впливів зовнішнього середовища – змінні, які характеризують природно-кліматичні та механічні впливи на аеродромне покриття як інженерну споруду – температура навколишнього середовища, тип повітряного судна, яке експлуатується;

- сукупність власних параметрів системи – змінні, які описують початковий експлуата-

ційно-технічний стан аеродромного покриття. До них належить: тип покриття, його розміри, тип штучної та природної основ;

- сукупність експлуатаційно-технологічних впливів – змінні, які характеризують такі впливи на аеродромне покриття – експлуатаційне утримання, роботи поточного ремонту, реконструкція;

- сукупність вихідних характеристик системи – змінні, які описують прогнозований експлуатаційно-технічний стан аеродромного покриття – пошкодження, які виникають у процесі експлуатації повітряними суднами.

Покриття аеродромів продовжують, як правило, експлуатуватись після того, як на досить великій кількості плит утворились пошкодження.

Для оцінки експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів пропонується така класифікація пошкоджень та дефектів:

- за природою їх виникнення;
- за впливом на безпеку польотів.

Пошкодження та дефекти аеродромного покриття залежно від природи їх походження підрозділяються на чотири групи:

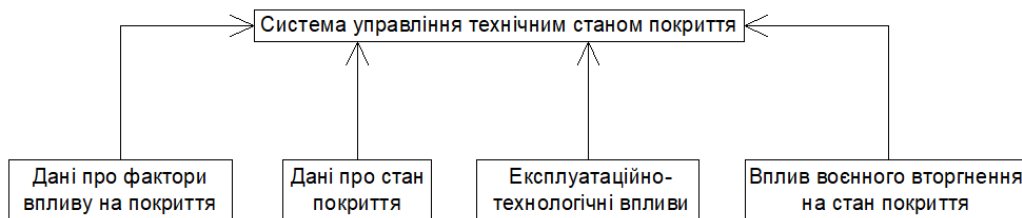


Рис. 4. Система управління технічним станом аеродромного покриття

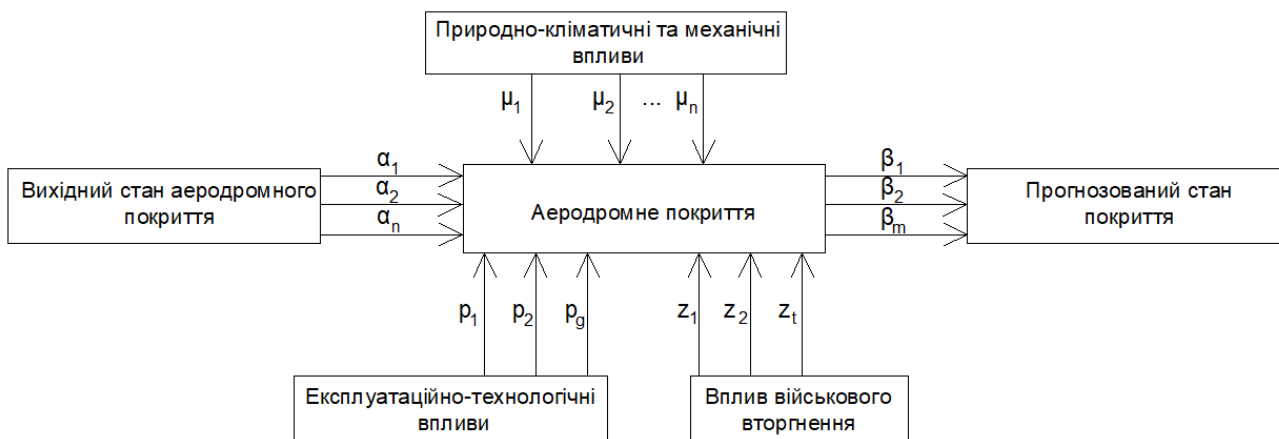


Рис. 5. Модель зміни стану аеродромного покриття як об'єкта управління

- природно-кліматичні;
- механічні;
- експлуатаційно-технологічні;
- пошкодження та дефекти в результаті вибухів та розривів мін, ракет та снарядів внаслідок воєнного вторгнення.

Причинами виникнення пошкоджень дефектів першої групи є температурно-вологісні процеси, які відбуваються у зовнішньому середовищі та визначають порядок деформування безпосередньо верхніх шарів аеродромних покриттів. Негативний вплив природних факторів на штучні покриття може проявлятися у вигляді: випучування підстильних ґрунтів; температурних деформацій та ерозії покриттів; корозійного руйнування конструктивних шарів покриттів мінералізованими ґрунтовими водами та ін. Наслідками впливу негативних факторів є такі пошкодження: уступи, тріщини, недопустимий злам поздовжнього профілю, фонтанування.

Аеродромні покриття в процесі експлуатації підлягають комплексу силових впливів:

- навантаження, які формуються під час зльоту, руління та стоянки повітряних суден;
- навантаження, які виникають під час руху транспортних та спеціальних машин.

Механічні навантаження мають високий ступінь визначеності та є основними вихідними параметрами у разі проєктування аеродромних покриттів.

До пошкоджень, причинами виникнення яких є неодноразові механічні навантаження, належать: просідання і перекошування плит; наскрізні тріщини; руйнування плит; відколювання кутів плит; вибоїни; відколювання бетону в поперечних і поздовжніх швах; розтріскування і відшарування герметизуючого матеріалу.

Експлуатаційно-технологічні впливи включають: теплові та механічні навантаження у разі впливу газових струменів від роботи двигунів сучасних повітряних суден та спеціальних машин, які забезпечують підготовку покриттів для польотів авіації; хіміко-механічні впливи, зумовлені впливами протижелезних реагентів і розливом паливно-мастильних матеріалів.

До пошкоджень, причинами яких є експлуатаційно-технологічні впливи, належать:

лущення; оголення арматури; раковини. Наведені пошкодження та дефекти по-різному впливають на безпеку польотів. При цьому їх можна розділити на три основні групи:

- можуть призвести до аварії (недопустимі). У разі виявлення їх потрібно негайно ліквідувати;

- не загрожують цілісності покриття. Їх ліквідовують під час капітального ремонту шляхом підсилення покриття чи заміни окремих його елементів;

- не призводять до руйнування конструкцій, але знижують їх експлуатаційні якості. Їх ліквідовують під час поточного ремонту.

Дані про ступінь пошкодження аеродромного покриття руйнуваннями та деформаціями різних типів отримані шляхом натурних візуальних обстежень злітно-посадкової смуги, руліжної доріжки, з використанням, за необхідності, засобів лінійних вимірювань (рулетки, лінійки).

Ідентифікацію основних типів руйнувань та деформацій здійснюють у відповідності до таблиці 2 (згідно з [8]).

Руйнування та деформації (дефектність) аеродромного покриття характеризують ступенем пошкодження тим чи іншим типом руйнувань або деформацій та поширеністю їх на ділянці протяжністю 100 м (у відсотках сумарної протяжності ділянок з таким типом руйнувань або деформацій від довжини ділянки протяжністю 100 м).

Незважаючи на те, що покриття аеродромів потребують постійного обстеження для визначення придатності їхньої подальшої експлуатації, дотепер не досить рекомендацій зі встановлення кількісних оцінок.

У процесі експлуатації під впливом навантажень від повітряних суден та впливів експлуатаційних навантажень та природних факторів відбувається фізичне зношування поверхні покриття та внутрішні силові пошкодження аеродромної конструкції, які знижують її несучу здатність та якість стану поверхні.

Збереження придатності покриття є основним завданням аеропорту навіть у тому випадку, коли термін служби покриття перевищив розрахункове значення. Під придат-



ністю покриття розуміють стан покриття, за якого забезпечується потрібна несуча здатність та безпечність виконання польотів.

Розглянемо механіку розвитку тріщин на покритті аеродрому. Крихкі руйнування, які розвиваються з часом, характеризуються накопиченням мікротріщин, які поступово знижують міцність покриття. У теорії міцності матеріалів визначається силами зв'язку між атомами, тобто для розширення тріщини необхідно подолати сили взаємодії сусідніх шарів атомів. Для цього в покриттях повинно виникнути напруження, яке призводить до розширення тріщини.

Незважаючи на велику кількість досліджень у цій галузі, багато в кінетиці зростання тріщин залишається невирішеним. В мікροструктурному підході основна увага приділяється аналізу мікроскопічних процесів руйнування в малій кінцевій зоні. Інша частина тіла розглядається як пружна.

У самій же кінцевій ділянці напруження дуже високі, тому там і розвивається процес руйнування. Тут важливі реологічні властивості матеріалу та кінетика зміни зв'язків між берегами тріщини. Відповідно, чим більшим є напруження, яке виникає в плиті покриття, тим швидше буде відбуватися поширення тріщин. Швидкість накопичення пошкоджень у покритті в процесі експлуатації дуже сильно залежить від ступеня його перевантаження.

Надано практичні рекомендації щодо виконання ремонтно-відновлювальних робіт на прикладі Міжнародного аеропорту «Запоріжжя».

Ремонт цементобетонного покриття виконується на довжину всього покриття ЗПС шириною 42 м і шириною до 6 м вздовж поперекового шва (до 3 м вправо і вліво від шва). Ділянку плити вирізають за контуром на повну товщину подвійним швом (для збереження кромки) і розрізання на сегменти важким нарізчиком CEDIMA CF 6010.

Випиляні сегменти плити прибираються за допомогою автокрана і навантажувача-екскаватора із завантаженням в автомобілі-самоскиди і транспортуванням у відвал. Демонтаж випиляних плит наведений на рис. 6.

Заздалегідь проводиться в'язка каркасів, армокаркасів відповідно до «Схеми ремонту дефектних ділянок» та підготовка до монтажу в ремонтних ділянках. На ділянці робіт прибирають сторонні предмети і матеріали, що заважають, у разі необхідності огорожують сигнальними знаками.

Від змішувальної установки до ділянки робіт під'їзну дорогу утримують у гарному стані. Установка армокаркасу відбувається із застосуванням автокрана. Виброрейку встановлюють у горизонтальне положення.

На підготовлену основу укладають прошарок із поліетиленової плівки. Підготовчі

Таблиця 2

## Класифікатор основних типів руйнувань та деформацій дорожнього одягу згідно з [8]

Машинний код типу руйнувань та деформацій	Тип руйнувань та деформацій	Ідентифікаційна характеристика типу руйнувань
1	2	3
1	Лущення	Руйнування поверхні дорожнього покриття у вигляді відшарувань тонких плівок та лущинок матеріалу покриття
2	Викришування	Руйнування дорожнього покриття за рахунок втрати ним дрібних зерен мінерального матеріалу
3	Вибійни	Локальні руйнування шару дорожнього покриття у вигляді заглиблень з різко вираженими крутими рваними кромками
6	Колійність	Деформації нежорстких дорожніх одягів у вигляді поздовжніх борозен різної глибини по лініях накату з причин або недостатньої міцності одягу (пологі краї понижень), або недостатньої структурної міцності матеріалу покриття (обрамлення борозен валиками переміщеного матеріалу покриття)
12	Сітка тріщин	Руйнування дорожнього покриття удосконаленого типу у вигляді розділення його сіткою тріщин різної розгалуженості за умовної сторони окремого вічка менше 1,5 м, що виникає у разі недостатньої міцності дорожнього одягу або за високої жорсткості матеріалу покриття внаслідок його старіння.



**Рис. 6. Демонтаж випиляних плит**

роботи виконуються протягом 4–6 годин безпосередньо на ділянці виконання робіт.

Вихід на смугу для проведення підготовчих робіт виконується в проміжках між зльотом і посадкою повітряного судна після отримання дозволу не менше ніж за добу до дня проведення робіт. За дві години до виходу техніки на місце проведення робіт на смугі бригада отримує остаточне підтвердження на виконання робіт від аеродромної служби чи іншої служби аеропорту.

У супроводі представників аеропорту чи технічного нагляду бригада виконує роботи у відведений проміжок часу, після чого ділянка ремонтних робіт ретельно прибирається та за необхідності миється поливомийною машиною.

Цементобетонну суміш виготовляють на цементобетонному заводі та доставляють до місця укладання автобетонозмішувачами. Вивантажену на поліетиленову плівку бетонну суміш обережно розподіляють екскаватором-планувальником. Поперечні шви стиску влаштовують одночасно з укладанням бетонної суміші, проводять розмітку шва.

На суміжних смугах до наявного цементобетонного покриття суміш ущільнюють глибинними вібраторами. Потім продовжують поверхневе ущільнення віброрейкою.

Невеликі нерівності на поверхні покриття ліквідують гладилками з довгою ручкою. На поверхню цементобетонного покриття наносять шорсткість металічними щітками.

Укладання цементобетонної суміші виконується протягом 2–3 годин. Експлуатація покриття дозволяється через 8–10 годин після набору міцності в 300–350 кг/см<sup>2</sup>.

Через 6–8 годин після укладання бетонної суміші виконується нарізання поперечних і поздовжніх швів.

Процес укладання цементобетонної суміші на ремонтних ділянках наведений на рис. 7.

Після влаштування верхнього шару із цементобетону відбувається догляд за покриттям:

- перший етап догляду за бетоном повинен здійснюватись, як правило, із застосуванням плівкоутворюючих матеріалів;
- нанесення плівкоутворюючих матеріалів на поверхню бетону відбувається одразу після нанесення шорсткості;
- догляд за цементобетонним покриттям розпилювачем з машини або вручну;
- бічні поверхні бетонного покриття також повинні бути покриті плівкоутворюючим матеріалом;
- плівкоутворюючі матеріали, які використовують у догляді за покриттям, потрапляють на будівництво в готовому вигляді в бочках;
- для запобігання засмічування розпилювачів плівкоутворюючу рідину необхідно розмішувати, а за необхідності від механічних сумішей та згустків;
- витрати всіх плівкоутворюючих матеріалів повинні бути не менше: 400 г/м<sup>2</sup> у разі тем-



**Рис. 7. Укладання цементобетонної суміші на ремонтних ділянках**



**Рис. 8. Догляд і очищення цементобетонного покриття**

ператури повітря нижче  $25^{\circ}\text{C}$ ;  $600 \text{ г/м}^2$  у разі температури повітря  $25^{\circ}\text{C}$  і вище.

Рух транспортних засобів по покриттю дозволяється тільки після досягнення бетоном проектної міцності та закінчення періоду догляду за бетоном.

Догляд і очищення цементобетонного покриття наведені на рис. 8.

Для успішного виконання робіт на ділянку заздалегідь мають бути доставлені всі необ-

хідні матеріали. Роботи з укладання цементобетонного покриття проводять в одну зміну тривалістю 10 годин.

Розрізання покриття на фрагменти відбувається важким нарізчиком під керівництвом машиніста 6-го розряду. Демонтаж фрагментів автокраном відбувається із завантаженням в автосамоскиди. Дорожні робочі 3-го розряду укладають плівку на очищену основу.

Під час установки армованих каркасів два робочі виконують розбивочні роботи, готують основу під армування. Два інших робочих за допомогою автокрана встановлюють армокаркаси і закріплюють їх на основі.

Планування бетонної суміші в основі виконує машиніст екскаватора. Бетонну суміш укладають 4 дорожні робочі 4-го розряду, наносять шорсткість на покриття за допомогою спеціальної металеві щітки, здійснюють догляд за плівкоутворюючим матеріалом.

У разі виконання ремонтних робіт необхідно здійснювати вхідний, операційний та приймальний контроль. Основним завданням контролю є забезпечення відповідності виконаних робіт вимогам проєкту, стандартів, норм та правил, інших нормативних документів.

У разі вхідного контролю необхідно перевірити наявність паспортів, сертифікатів та іншої необхідної документації, регулярно вести журнал з контролю якості вихідних матеріалів, фіксувати номери партій матеріалів, заводи виробників, дати виготовлення і дослідження проб, дати закінчення гарантійного терміну зберігання, умови фактичного зберігання, а також результати перевірки якості матеріалів.

Лабораторний контроль за якістю кожної партії вихідних матеріалів повинен здійснюватися безпосередньо у разі отримання матеріалів із заводів-виробників, а також у разі закінчення гарантійних термінів зберігання, які вказані в паспорті.

Після закінчення гарантійного терміну зберігання якість матеріалів необхідно перевіряти безпосередньо перед їхнім застосуванням.

Усі записи контролю якості повинні завірятися підписами осіб, які проводять дослідження і відповідають за якість вихідних матеріалів.

Операційний контроль виконує підрядна організація в ході виконання ремонтних робіт з метою своєчасного виявлення порушення технології виконання робіт і їх усунення.

Приймання робіт у разі виконання ремонту цементобетонних покриттів аеродромів здійснюється у відповідності до законодавчих актів,

стандартів, будівельних норм і правил, інших нормативних документів, які діють в Україні.

Виконані роботи пред'являються підрядником до приймання приймальною комісією.

**Висновки.** Внаслідок воєнного вторгнення російської федерації на територію України з 20 діючих цивільних аеропортів під час війни було зруйновано аеродромні комплекси (злітно-посадкові смуги, будівлі, споруди) у 11 аеропортах України. При цьому орієнтовні збитки аеропортів та аеронавігаційного обладнання України на початок літа 2022 року становлять близько 6,8 млрд дол. Тому розроблення положень та методик оцінки стану та відновлення аеродромних покриттів має надзвичайно велике значення.

Запропонована класифікація пошкоджень та дефектів аеродромних покриттів залежно від природи їх виникнення.

Пропонована методика оцінювання експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів включає: дослідження технічного стану поверхні аеродромного покриття; дослідження несної здатності аеродромного покриття; дослідження фізико-механічних показників бетону; моніторинг усєї площі ЗПС зі складанням дефектного плану; детальний моніторинг стану плит з характерними дефектами на представлених вибірках; проведення досліджень на ЗПС пробними навантаженнями; відбір кернів із покриття; лабораторні дослідження кернів на міцність; оперативна оцінка якості експлуатаційно-технічного стану поверхні аеродромного покриття; оцінка показника PCN; оцінювання реальних фізико-механічних показників бетону; аналіз виконаних оцінок стану покриття; пропозиції стосовно подальшої експлуатації та ремонту аеродромних покриттів.

Надано практичні рекомендації та перелік технологічних операцій під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт Міжнародного аеропорту «Запоріжжя».

#### Список використаних джерел:

1. Проєкт Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури». Київ : Національна рада з відновлення України від наслідків війни. 155 с.

2. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України 2020 (Сертифікаційні вимоги 2020), встановлені наказом № 1346 Державної авіаційної служби України від 22.09.2020 року. Київ : Державі-аслужба України, 2006.
3. Talakh S., Dubyk O., Lysnytska K., Ilchenko V. (2019). Numerical simulation of hard airdrome coatings stress-strain state when interacting with weak ground base. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(52), 124–132.
4. Повітряний кодекс України (2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>.
5. Guo, E., Pecht, F. (2006). Critical gear configurations and positions for rigid airport pavements – observations and analysis. In *Pavement Mechanics and Performance, GeoShanghai International Conference*. Shanghai, China, 7–14. [http://dx.doi.org/10.1061/40866\(198\)2](http://dx.doi.org/10.1061/40866(198)2)
6. Rodchenko, O.V. (2017). Computer technologies for concrete airfield pavement design (Комп’ютерні технології проектування цементобетонних аеродромних покриттів). *Aviation*. Volume 21(3), P. 111–117. URL: <https://doi.org/10.3846/16487788.2017.1379439>.
7. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodromes. Volume 1. Aerodrome Design and Operations (2018). International Civil Aviation Organization.
8. СОУ 45.2-00018112-042 «Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів».

#### References:

1. Project of the Recovery Plan of Ukraine. Materials of the working group “Restoration and development of infrastructure”. Kyiv: National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War. 155 p.
2. Certification requirements for civil airfields of Ukraine 2020 (Certification requirements 2020), established by Order No. 1346 of the State Aviation Service of Ukraine dated September 22, 2020. Kyiv: State Aviation Service of Ukraine, 2006.
3. Talakh, S., Dubyk, O., Lysnytska, K., Ilchenko, V. (2019). Numerical simulation of hard airdrome coatings stress-strain state when interacting with weak ground base. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(52), 124–132.
4. Air Code of Ukraine (2021). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>.
5. Guo, E., Pecht, F. (2006). Critical gear configurations and positions for rigid airport pavements – observations and analysis, in *Pavement Mechanics and Performance, GeoShanghai International Conference*. Shanghai, China, 7–14. Retrieved from: [http://dx.doi.org/10.1061/40866\(198\)2](http://dx.doi.org/10.1061/40866(198)2).
6. Rodchenko, O.V. (2017). Computer technologies for concrete airfield pavement design. *Aviation*. Volume 21(3), P. 111–117. Retrieved from: <https://doi.org/10.3846/16487788.2017.1379439>.
7. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodromes. Volume 1. Aerodrome Design and Operations (2018). International Civil Aviation Organization.
8. SOU 45.2-00018112-042 “Automotive roads. Determination of transport and operational indicators of road clothing”.