

УДК 697.341

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2025.1.8>**Луценко Олександр Кіндратович,**

викладач кафедри військової підготовки,
Національний авіаційний університет,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1465-1637>
E-mail: oleksandr.lutsenko@npp.kai.edu.ua

Плужніков Борис Олексійович,

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри військової підготовки,
Національний авіаційний університет,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1585-163X>
E-mail: borys.pluzhnykov@npp.kai.edu.ua

Малиш Андрій Григорович,

викладач кафедри військової підготовки,
Національний авіаційний університет,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0941-919X>
E-mail: andrii.malysh@npp.kai.edu.ua

Кульбашевський Віктор Анатолійович,

викладач кафедри військової підготовки,
Національний авіаційний університет,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4456-7462>
E-mail: viktor.kulbashevskiy@npp.kai.edu.ua

Осовський Іван Миколайович,

аспірант кафедри інфраструктури авіаційного транспорту,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8294-6990>
E-mail: 5177530@stud.kai.edu.ua

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО УТРИМУВАННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ АЕРОДРОМУ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ

Анотація. Проведено аналіз функціональної моделі системи інженерно-аеродромного забезпечення, яка відображає сукупність функцій: експлуатаційних, відновлювальних, забезпечувальних, підготовчих та управлінських. Запропоновано метод імітаційного моделювання для реалізації математичної моделі системи інженерно-аеродромного забезпечення у вигляді блочної структури. Сутність методу блочного моделювання системи інженерно-аеродромного забезпечення полягає в тому, що фізичні процеси у її підсистемах і елементах імітуються такими математичними методами, які найбільш повно відтворюють їх у реальних умовах.

Оцінено потреби у використанні аеродромів цивільної авіації (ЦА), аеродромних ділянок доріг (АДД), польових аеродромів (ПА) з урахуванням наявної військової аеродромної мережі для вирішення завдань оборонної, наступальної, стабілізаційної операції у наявних довготривалих конфліктах низької інтенсивності, тактичного радіуса літаків, що залучаються на різних висотах, кількості та задіяної площини важливих державних об'єктів та угруповань військ, які потрібно прикрити. Обмежувальним фактором є кількість

наявних засобів забезпечення польотів, а саме аеродромно-технічного забезпечення (АТЗ), радіотехнічного забезпечення (РТЗ) та матеріально-технічних ресурсів.

Використано методику математичного моделювання прогнозування експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів, яка базується на багатофакторному плануванні експериментальних досліджень і математичній обробці статистичних даних.

Ключові слова: система інженерно-аеродромного забезпечення, льотна смуга, руліжні доріжки, технічна експлуатація аеродромів, аеродроми державної авіації, Міжнародна організація цивільної авіації, цивільна авіація.

Lutsenko Oleksandr, Pluzhnikov Borys, Malysh Andrii, Kulbashevskiy Viktor, Osovskiy Ivan.
Ways to improve the structural system of operational maintenance and restoration of a state aviation airport

Abstract. The functional model of the engineering and aerodrome support system, which reflects the set of functions: operational, restoration, support, preparatory and management, has been analyzed. A simulation modeling method has been proposed for the implementation of a mathematical model of the engineering and aerodrome support system in the form of a block structure. The essence of the block modeling method of the engineering and aerodrome support system is that the physical processes in its subsystems and elements are simulated by such mathematical methods that most fully reproduce them in real conditions.

The needs for the use of civil aviation airfields (CA), airfield road sections (ADD), field airfields (PA) were assessed, taking into account the existing military airfield network for solving the tasks of defensive, offensive, stabilization operations in existing long-term low-intensity conflicts, the tactical radius of aircraft involved at different altitudes, the number and affected area of important state objects and troop groups that need to be covered. The limiting factor is the number of available flight support facilities, namely airfield technical support (ATЗ), radio technical support (РТЗ) and material and technical resources.

The method of mathematical modeling of forecasting the operational condition of hard airfield surfaces was used, which is based on multifactorial planning of experimental studies and mathematical processing of statistical data.

Key words: aerodrome engineering support system, runway, taxiways, technical operation of aerodromes, state aviation aerodromes, International Civil Aviation Organization, civil aviation.

Вступ. В умовах збройної агресії Російської Федерації особлива увага приділяється інженерно-аеродромному забезпеченню авіації. Від ступеня розвиненості аеродромної мережі, її підготовленості та захищеності залежить ефективність бойового застосування авіаційних частин і підрозділів. Для підвищення бойових можливостей під час вирішення поставлених завдань можуть бути підготовлені та використані як оперативні (тимчасові) аеродроми військові, цивільні аеродроми (ЦА), аеродромні ділянки доріг (АДД) і польові аеродроми (ПА).

У зв'язку із цим актуальним являється задача технічної експлуатації та оцінювання стану аеродромного покриття.

Важливим аспектом моделі експлуатаційного утримання аеродромів є дотримання міжнародних стандартів, як-от стандарти Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО). Застосування такої моделі допомагає забезпечити безпеку авіаційних операцій,

ефективне використання ресурсів і зниження ризиків в експлуатації аеродрому.

Тому необхідним є погодження чинних методів і норм щодо відновлення аеродромних покриттів та їх експлуатаційного утримання з вимогами стандартів ІКАО і НАТО.

Аналіз наукових досліджень. Питанням безпеки польотів, у тому числі заходам, які забезпечує інженерно-аеродромна служба, присвячено велика кількість робіт. Для прогнозування зміни експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів у процесі їх експлуатації проведено математичне моделювання – обґрунтовано процес формування моделі жорстких аеродромних покриттів, отримання інформації про процес, який протікає в об'єкті, та отримання інформації, яку можна використовувати для дослідження об'єкта, що моделюється [1–3]. Використано методику математичного моделювання прогнозування експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів, яка базується на

багатофакторному плануванні експериментальних досліджень і математичній обробці статистичних даних.

Удосконалено методики оцінювання властивостей жорстких аеродромних покриттів за міцністю та тріщиностійкістю, які характеризуються напруженням σ_{pt} МПа та шириною розкриття тріщини α_{arc} (мм), що виникають у покритті внаслідок спільного впливу на покриття експлуатаційних параметрів авіаційної техніки й умов зовнішнього середовища. Для оцінки напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів використовувався метод кінцево-елементного аналізу, який є потужним чисельним методом вирішення різноманітних інженерних задач і має вирішальне місце в прогнозуванні експлуатаційного стану покриття за дії експлуатаційних факторів та факторів зовнішнього середовища [4–10].

Але більшість робіт, які розглядали ці питання, не повною мірою враховували значення критеріїв оцінювання експлуатаційного стану жорсткого аеродромного покриття. Тому метою цієї роботи є:

- розробити схему процесу моделювання зміни технічного стану аеродромного покриття;

- проаналізувати існуючі методи, які використовуються для оцінювання технічного стану аеродромних покриттів.

Матеріали та метод. Успішне вирішення проблеми забезпечення безпеки польотів потребує спільних зусиль учених, конструкторів, інженерів та багатьох інших спеціалістів. Незважаючи на те що проблеми забезпечення безпеки польотів існували з перших днів виникнення авіації, попередження інцидентів з авіаційною технікою і зараз зазвичай ґрунтується на висновках комісій, які здійснюють розслідування таких подій. Для ефективного вирішення питань попередження авіаційних інцидентів потрібні нові підходи до оцінювання, аналізу та вироблення заходів забезпечення безпеки польотів загалом, що дадуть можливість адекватно оцінити ступінь впливу різноманітних факторів, їх найбільш небезпечні поєднання та раціональні шляхи їх усунення. У статті розглянуто наявні

методи оцінювання експлуатаційного стану аеродромних покриттів в Україні та провідних країнах світу, що впливають на рівень безпеки польотів.

Остаточна потреба в кількості АДД, ЦА, ПА для проведення операцій визначається оперативним управлінням під час завчасного планування операцій і може відрізнятися від наведених нижче розрахунків не більш ніж удвічі. Такий розрахунок обґрунтований різницею площини оперативних районів і різним зосередженням сил противника на оперативних напрямках. У зв'язку із цим під час оборонного планування отриману потребу необхідно помножити на коефіцієнт 1,5.

Оцінювання потреби у використанні аеродромів цивільної авіації (ЦА), аеродромних ділянок доріг (АДД), польових аеродромів (ПА) має відбуватися з урахуванням наявної військової аеродромної мережі для вирішення завдань оборонної, наступальної, стабілізаційної операції у наявних довготривалих конфліктах низької інтенсивності, тактичного радіуса літаків, що залучаються на різних висотах, кількості та задіяної площини важливих державних об'єктів та угруповань військ, які потрібно прикрити. Обмежувальним фактором є кількість наявних засобів забезпечення польотів, а саме аеродромно-технічного забезпечення (АТЗ), радіотехнічного забезпечення (РТЗ) та матеріально-технічних ресурсів.

Можлива кількість засобів ЦА, АДД, ПА N визначатиметься незалежно від метеоумов, часу, пори року за такою формулою:

$$N_{1.можл.} = \min [N_{атз}], \quad (1)$$

де $N_{РТЗ}$, $N_{атз}$ – кількість відповідних наборів засобів РТЗ, АТЗ, що потрібні для здійснення зльоту, посадки літальних апаратів:

- вдень за простих метеоумов або для аварійної посадки за відсутності засобів РТЗ можлива кількість аеродромів $N_{2.можл.}$ може обчислюватися, виходячи з наявних комплексів засобів АТЗ за формулою:

$$N_{2.можл.} = \min [N_{атз}], \quad (2)$$

але в цьому випадку треба здійснювати закупівлю необхідної кількості засобів РТЗ

($N_{\text{РТЗ потр.}}$) під час завчасної підготовки, яка визначатиметься за формулою:

$$N_{\text{РТЗ потр.}} = N_1 \text{ можл.} - N_2 \text{ можл.} \quad (3)$$

Необхідна кількість ЦА, АДД, ПА $N_{\text{потр.}}$ обчислюється виходячи з визначеної площі операційної зони (ОЗ) $S_{\text{О.З.}}$, глибини розташування аеродромів від державного кордону (лінії бойового зіткнення) для різних родів авіації $G_{\text{О.З.}}$. Тактичний радіус ЛА $R_{\text{Т(ЛА)}}$ (визначається за довідником головного штурмана) залежить від протяжності лінії бойового зіткнення $L_{\text{бз}}$.

Тоді:

$$N_{\text{потр.}} = \frac{S_{\text{О.З.}} - (G_{\text{О.З.}} \cdot L_{\text{бз}})}{0,25 \cdot \pi \cdot R_{\text{Т(ЛА)}}^2}, \quad (4)$$

де $R_{\text{Т(ЛА)}}$ – радіус тактичний ЛА на гранично малих висотах.

Експлуатація аеродромів полягає у використанні елементів аеродрому під час руління, зльоту та посадки повітряних суден і проведенні необхідних заходів щодо збереження стану, за якого вони придатні до використання повітряними суднами.

Забезпечує експлуатацію аеродрому керівник суб'єкта державної авіації України (далі – командир авіаційної частини), який базується на аеродромі.

Забезпечення постійної експлуатаційної готовності аеродрому покладається на інженерно-аеродромну службу й аеродромно-експлуатаційний підрозділ, а також на інші підрозділи (служби) авіаційної частини, які проводять роботи з експлуатаційного утримання та поточного ремонту закріплених за ними будівель і споруд службово-технічної забудови (СТЗ) аеродрому.

Експлуатаційне утримання аеродрому полягає в контролі його технічного стану та забезпеченні готовності аеродрому до проведення польотів.

Експлуатаційне утримання аеродрому складається з робіт, спрямованих на забезпечення функціонального призначення аеродромних покриттів, ґрунтової частини льотного поля, аеродромних аварійних гальмівних установок (ААГУ), водовідвідних і дренажних систем, інженерних мереж та будівель і споруд СТЗ

аеродрому, а також заходів з перевірки й оцінювання їх стану.

Система інженерно-аеродромного забезпечення – це сукупність взаємопов'язаних органів управління, сил і засобів та інфраструктури, призначених для здійснення комплексних заходів із своєчасної підготовки та розвитку аеродромної мережі.

Аеродром – складна система, комплексна експлуатація якої повинна базуватися на ергономічних засадах за такої взаємодії: людина – повітряне судно – аеродром – оточуюче середовище (ЛПАОС). Такий підхід до вирішення завдання експлуатації аеродромів забезпечує надійність і тривалість роботи аеродромних споруд, безпеку та регулярність польотів повітряних суден. Методичною основою ергономічних засад є системний підхід, що дає можливість на основі принципів системотехніки, теорії надійності, досліджень, інженерної психології, технічної естетики, наукової організації праці визначити оптимальні взаємозв'язки та характеристики окремих підсистем і елементів. Особливу важливість має ергономічне вирішення завдання безпеки та регулярності польотів повітряних суден в умовах застосування автоматичних систем управління (АСУ), які зараз широко використовуються в практиці роботи державної авіації. Варто мати на увазі, що ергономічні можливості, закладені в сучасній, а особливо в перспективній авіаційній техніці та засобах обладнання аеродромів, надзвичайно великі. Вони, на жаль, не завжди можуть бути повністю використані людиною через деякі природно-психофізіологічні обмеження (бар'єри). Наприклад, не всі відмови техніки можна автоматично виправити, а визначення характеру та способу їх усунення потребує чимало часу. Тому потрібно, щоб техніка та людина з її психофізіологічними та фізичними можливостями були гармонійно пропорційними (пов'язаними). Ергономічні наукові основи роботи повітряного транспорту повинні виходити зі структурної схеми взаємодії підсистем у єдиному комплексі або єдиній системі, у якій центральне місце належить людині, яка підготовлює (забезпечує) повітряне судно й аеродром до польоту з ураху-

ванням навколишнього середовища (рис. 1). Ці функціональні зв'язки людини на схемі позначені цифрами 1, 3 та 5. Зі свого боку, повітряне судно й аеродром надають зворотний зв'язок, диктуючи людині свої технічні можливості, а навколишнє середовище при цьому вказує обстановку на аеродромі, від якої залежать умови зльоту та посадки (мінімум погоди, стан поверхні покриттів та ін.). Зазначені функціональні зворотні зв'язки позначені на схемі цифрами 2, 4 та 6.

Результати. Між повітряним судном, аеродромом та навколишнім середовищем також існують прямі та зворотні функціональні зв'язки, що виражають технічні процеси взаємодії і є основою для прийняття рішень людиною, яка керує всіма подіями (роботами) забезпечення польотів повітряних суден. Ці зв'язки на схемі позначені цифрами: повітряне судно – аеродром 7 (зворотний зв'язок 8) або аеродром – повітряне судно 8 (7); повітряне судно – навколишнє середовище 9 (10)

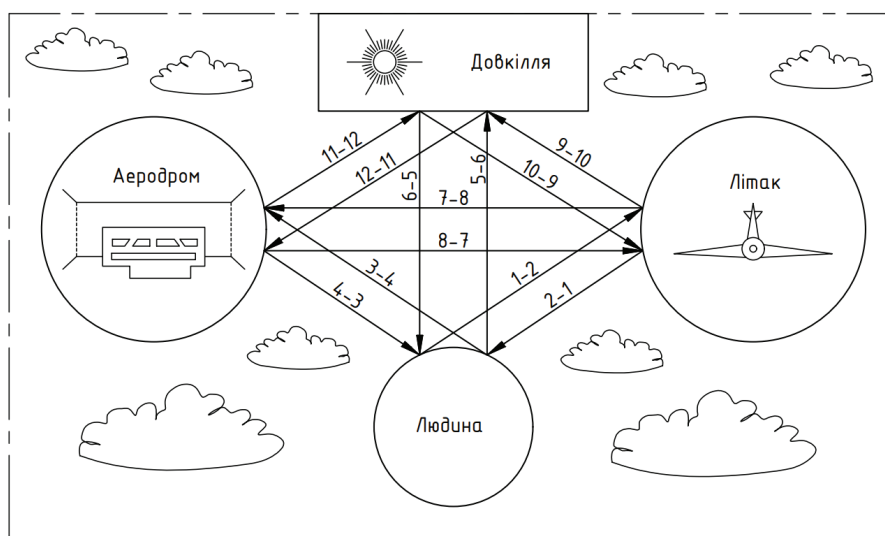


Рис. 1. Структурна схема взаємодії ергономічних підсистем комплексної роботи транспорту

або навколишнє середовище – повітряне судно 10 (9); аеродром – навколишнє середовище 11 (12) або навколишнє середовище – аеродром 12 (11).

Підсистеми 1–2, 3–4 і 5–6 (людина – повітряне судно, аеродром, навколишнє середовище) з позиції виконання основного завдання повітряного транспорту – польоту повітряного судна з метою виконання бойового завдання – повинні вирішувати питання підготовки повітряного судна й аеродрому з урахуванням впливу навколишнього середовища для безпечного виконання маневрів на землі (аеродромі), зльотів, посадок і польотів за маршрутом.

Це глобальні питання забезпечення безпечних і регулярних польотів повітряних суден. Однак, якщо йдеться про конкретні питання

підготовки аеродрому до польоту повітряного судна, то персонал, відповідальний за підготовку аеродрому (інженерно-аеродромна служба), повинен чітко знати вимоги, що забезпечують безпечні зльоти та посадки повітряних суден і їх маневрування на землі. Отже, експлуатаційні вимоги, що висувуються до аеродромів, авіаційної техніки, є основою норм, які викладені в Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України та внесеними змінами до неї за наказом Міністерства оборони України № 348 від 23 вересня 2020 року. Технічна експлуатація аеродромів, що безпосередньо пов'язана з льотною експлуатацією, зі свого боку, висуває вимоги до проектування й будівництва аеродромних споруд. Водночас існують ряд самостійних вимог до експлуатації, як-от необхідність підтримки

аеродромних покриттів в абсолютній чистоті, захисту від пилу та бруду, ожеледиці та снігу (або ущільнення снігу), які є достатньо зрозумілими та точними, але їх виконання в умовах польотів повітряних суден є досить складним, тому потрібно знаходити швидкі й ефективні способи їх здійснення. Ці питання повинні бути вирішені підсистемою 3–4 з урахуванням підсистеми 12–11.

Підсистема 7–8 (повітряне судно – аеродром) дає змогу оцінювати результати взаємодії повітряного судна зі штучними та ґрунтовими покриттями аеродрому, тобто напружено-деформований стан покриттів та основи, утворення деформацій та руйнувань, і є основою теорії експлуатації аеродромів. Саме ця підсистема дає можливість дослідити причини виникнення різних типів деформацій і руйнувань покриттів та основи за застосування навантажень літака з урахуванням динамічності, повторюваності та тривалості дії, втомлювальних явищ у матеріалах покриттів, а також обґрунтувати межі стану, за яких подальша експлуатація є недоцільною (неекономічною). Це, зокрема, дає можливість обґрунтувати міжремонтні терміни служби покриттів, види відновлювальних робіт (аварійні, тимчасові або капітальні), нормування яких з погляду оптимального планування капіталовкладень у ремонт і реконструкцію або відновлення аеродромів має важливе значення як для народного господарства, так і для забезпечення їхньої боєготовності та живучості.

Важливою задачею підсистеми 3–4 є розробка методів якісного оцінювання стану покриттів, включно з вивченням усіх показників. Експлуатаційний стан багатьох аеродромів за рядом показників невідомий, крім того, він змінюється щороку (а іноді щомісяця). Імовірно, важливо розробити (або використувати з інших галузей) методи і пристрої інструментального (включно з автоматичним) вимірювання якості покриттів і застосувати системний аналіз для оцінювання експлуатаційного стану аеродромів.

Підсистеми 5–6, 9–10 і 11–12 стосуються охорони природи та її впливу на всю виробничу діяльність громадської авіації. Потрібно

дослідити й розробити вимоги щодо охорони природи під час проєктування, будівництва й експлуатації аеродромів, зокрема, щодо таких питань, як шумове навантаження на аеродромну територію, забруднення атмосфери вихлопними газами двигунів і забруднення стічних вод із території аеродрому. Зворотні зв'язки зазначених підсистем 6–5, 10–9 і 12–11 показують вплив довкілля на людину, повітряне судно й аеродром. Ці впливи підлягають всебічним дослідженням та врахуванню під час проєктування й експлуатації аеродромів. Вплив довкілля на людину здебільшого залежить від кліматологічних та атмосферних умов, у яких людина здійснює свою професійну діяльність. Тому дослідження питань найбільш продуктивної виробничої діяльності людини в різних навколишніх середовищах, що забезпечують безпечну роботу державної авіації, є дуже складною задачею.

Підсистема 3–4 (людина – аеродром) вирішує завдання системної оцінки експлуатаційного стану аеродрому. Таке оцінювання зручно здійснити на прикладі дорожників за допомогою спеціальних коефіцієнтів, які дають змогу визначити рівень забезпеченості безпеки та регулярності польотів повітряних суден.

До основних і вирішальних показників експлуатаційного стану та якості аеродромів, що оцінюються коефіцієнтами, належать: міцність (несуча здатність) покриття K_D , рівність $K_{рів.}$, допустима швидкість руху повітряних суден по руліжних доріжках $K_{шв.рул.}$, слизкість $K_{скл.}$, дефективність (тріщини, вибоїни, просідання тощо) K_D , наявність та якість маркування, що впливає на підвищення точних (безпечних) посадок і зльотів $K_{б.мар.}$, наявність спеціального обладнання аеродромів, що забезпечує певну категорію мінімуму погоди для безпечних зльотів і посадок $K_{б.мін.}$, ступінь використання можливого завантаження повітряних суден, що залежить від розмірів повітряної смуги та повітряних підходів $K_{завтж.}$, та інші резервні показники $K_{рез.}$.

Система показників експлуатаційного стану та якості аеродромних покриттів може бути виражена багатокомпонентною функціональною залежністю:

$$U_{бр.} = f(K_{п.}, K_{рив.}, K_{шв.рул.}, K_{скл.}, K_{д.}, K_{б.мар.}, K_{б.мін.}, K_{завтж.}, K_{рез.}). \quad (5)$$

Розглядаючи кожен з коефіцієнтів-показників експлуатаційного стану та якості аеродромних покриттів, можна відзначити ряд положень, що лежать в основі визначення цих коефіцієнтів.

Міцність (несуча здатність) покриття є одним з основних показників, визначених на основі розрахункової схеми роботи покриття, тобто за розтягом матеріалу в разі згину, прогину, зсуву тощо. Тому коефіцієнт, що оцінює міцність покриття, дорівнюватиме відношенню фактичної міцності $P_{ф.}$ до проектною $P_{пр.}$, тобто $K_{п.} = P_{ф.} : P_{пр.}$, де $P_{ф.}$ визначається за спеціальною методикою та за допомогою апаратури.

Пропускна здатність аеродрому закладається на стадії проектування. Однак у процесі експлуатації аеродрому з'являються нові типи повітряних суден, удосконалюється техніка пілотування, вводяться автоматизовані системи управління повітряним рухом, додатково будуються руліжні доріжки, технічні позиції підготовки повітряних суден із метою централізованої заправки літаків тощо. Це потребує встановлення можливої пропускної здатності існуючого (експлуатованого) аеродрому стосовно нових умов польотів повітряних суден та їх злітно-посадкових характеристик «λ». А отже, швидкість руління на аеродромі залежить від умов видимості та інтенсивності руху, але не повинна перевищувати 60 км/год, а на аеродромах з високою інтенсивністю польотів – 50 км/год. Відхилення допускається в межах +10 %, а отже, коефіцієнт швидкості $K_{шв.рул.} = 1:1,1 = 0,91$.

Слизькість покриття сильно впливає на умови гальмування під час посадки повітряних суден, руління й виконання маневрів. У разі мокрої поверхні й поганої якості очищення від снігу або ожеледиці зчеплення коліс із покриттям зменшується, а отже, знижується безпека. Зчіпні якості поверхні покриття характеризуються коефіцієнтом зчеплення. Якщо він дорівнює 0,5, то умови гальмування вважаються добрими.

Залежно від стану поверхні покриття, на яких дозволені польоти, коефіцієнт зче-

плення може бути від 0,3 до 0,8 (якщо 0,3, умови вважаються задовільними). Оцінюється поверхня покриття коефіцієнтом слизькості, який визначається як відношення фактичного коефіцієнта зчеплення $K_{ф.зч.}$ до необхідного $K_{необх.зч.}$. Для забезпечення добрих умов гальмування отримаємо: $K_{скл.} = K_{ф.зч.} \cdot K_{вим.зч.} = (0,3 - 0,8) : 0,5 = 0,6 - 1,6$.

Отже, якщо $K_{скл.} > 1$, умови безпеки підвищуються, а якщо $K_{скл.} < 1$ – знижуються (погіршуються).

Стан покриттів за дефективністю (наявність тріщин, лущення, відколи, просідання тощо), зношення покриття впливає на безпечну швидкість повітряного судна. Ця швидкість буде меншою, якщо знизити пропускну спроможність руліжних доріжок. На ШЗПС за будь-якого її стану швидкість відриву й посадки для кожного типу повітряного судна має свої приблизно постійні значення. Тож на дефектних покриттях зменшується безпека зльоту й посадки.

Важливе значення для забезпечення безпеки зльотів і посадок повітряного судна має наявність і якість маркувальних знаків, які орієнтують пілотів на правильні та впевненні дії, тобто які визначають умови точного й безпечного виконання злітно-посадкових операцій за різноманітної видимості. Наприклад, маркування осрової лінії дає змогу пілоту «відчувати» ширину ШЗПС і не виходити за її межі, парні прямокутні знаки зони приземлення – оцінювати місце та точність посадки і т. ін. Але в процесі експлуатації видимість маркувальних знаків може бути недостатньою через зношення фарби або прилипання гумових частин унаслідок тертя пневматиків авіаційних коліс. На думку окремих висококваліфікованих пілотів-випробувачів, недостатня видимість маркування або її відсутність, але за гарної видимості ШЗПС, знижує безпеку польотів на 20–25 %. Тож коефіцієнт безпеки за умов маркування становить: $K_{б.мар.} = 0,75 - 0,8$. Значення цього коефіцієнта підлягає уточненню з урахуванням розробленої спеціальної методики.

З метою забезпечення безпеки та регулярності польотів повітряних суден на аеродромах, як відомо, встановлюють мінімуми

погоди з урахуванням льотних характеристик повітряних суден, бортового й наземного обладнання, розмірів злітно-посадкової смуги, рельєфу місцевості та перешкод у секторах зльоту та посадки. Ці мінімуми погоди повинні суворо виконуватися. Однак можуть бути випадки, коли особливі обставини змушують здійснювати політ за мінімумів, які дещо відрізняються в гірший бік від необхідних. Практика експлуатації повітряних суден різних класів показує, що їх зльоти й посадки можливі за підвищеної уважності в межах зниження мінімуму погоди порівняно з необхідним на 10–15 %. Тоді цей приватний коефіцієнт безпеки за мінімумом погоди становить: $K_{б.мін.} = 0,85 - 0,9$.

Лінійні розміри покриттів злітно-посадкових смуг, бічних і кінцевих смуг безпеки та повітряних підходів, розраховані за спеціальною методикою, необхідні для безпечних зльотів і посадок за повного завантаження. Якщо ці розміри не відповідають розрахунково-необхідним, то зазвичай польоти повітряних суден небажані. Тільки за гострої необхідності польоти в таких умовах ідуть на зменшення завантаження до значення, що дає змогу повітряному судну зі зменшеною масою виконати безпечний зліт. У цьому випадку буде знижена ефективність завантаження, що оцінюється коефіцієнтом, який дорівнює відношенню фактичного завантаження $P_{ф.}$ до планово-можливого $P_{пл.}$, тобто $K_{завтж.} = P_{ф.} : P_{пл.}$. Значення цього коефіцієнта може бути різним, але з тактичних міркувань недоцільно допускати його нижче ніж 0,65–0,70. Завантаження літаків у такі дні становить 75–78 %, що визначає коефіцієнт завантаження: $K_{завтж.} = 0,75 - 0,78$.

Крім зазначених вище показників, що беруть участь у системній оцінці експлуатаційного стану аеродромів, за допомогою коефіцієнтів можуть бути виявлені й інші. У цій системі оцінки вони передбачені коефіцієнтом резерву $K_{рез.}$.

Наведені вище коефіцієнти комплексно характеризують експлуатаційний стан аеродрому. Вони непостійні в часі, змінюються не лише протягом року, а й між капітальними ремонтами та відновленням споруд.

Таким чином, безпека та регулярність польотів засобами утримання й ремонту забезпечується станом ті міцністю елементів аеродрому. При цьому вирішальним якісним показником стану поверхні покриття є коефіцієнт зчеплення μ , а міцності – несуча здатність II . За зміни необхідних значень цих показників потрібно (з метою відновлення безпеки та регулярності польотів) якнайшвидше виправити порушення, тобто час виправлення повинен наближатися до значення, близького до нуля ($t \rightarrow 0$), і бути не більше ніж проміжок часу («вікна») між зльотами та посадками за планом. Усе це дасть бойову ефективність роботи авіації.

Показником економічної ефективності Q є вартість річних експлуатаційних витрат визначеного класу аеродрому C . Функціонування аеродрому, як системи з економічної ефективності, буде близькою до оптимального, якщо $Q = C \rightarrow \min$.

Сукупність параметрів, що визначають функціонування системи експлуатаційного утримання та ремонту аеродрому (СЕУРА), характеризується як залежними (постійними), так і незалежними (змінними) величинами. Залежними параметрами X_z умов функціонування системи є такі, які задані з початку дії системи, і від них залежить результат експлуатації. До таких параметрів можна віднести фізичні характеристики аеродромів (площі та тип покриття, планувальне рішення тощо) або середні кліматичні умови, що встановлюються (температура повітря, кількість снігу, число випадків ожеледиць тощо). Незалежними параметрами $X_{нз}$ будуть ті, значення яких може в певних межах вибиратися, тобто ними можна «керувати», виходячи з конкретних можливостей. Наприклад, можна вибрати метод і оптимальну технологію зимового утримання або ремонту окремих видів руйнувань η , можна застосовувати різні склади та типи засобів механізації та ін.

Функціонування СЕУРА може порушуватися внаслідок виникнення випадкових явищ η , що впливають на умови роботи, а отже, на показники системи. Ці випадкові явища (фактори) зумовлені, наприклад, відхиленнями часу вильотів і прильотів повітряних суден,

значним підвищенням середньорічних даних щодо кількості опадів снігу або дощу (влітку), числа випадків утворення ожеледиці тощо. Отже, потрібно визначати ступінь невизначеності випадкових факторів і методами математичної надійності враховувати їх для функціонування СЕУРА. Таким чином, на підставі вищенаведених положень можна записати цільову функцію системи у вигляді:

$$C(\mu, P, t, Q) = f(X_s, X_{nz}, \eta). \quad (6)$$

Структурну схему СЕУРА, відповідно до цільової функції та системи, наведено на рис. 2.

Завдання розробки та створення математичної моделі СЕУРА надзвичайно складне. На цей час у різних країнах виконуються перші дослідження щодо вирішення цього завдання.

Висновки. Наведені аналітичні залежності дозволяють оцінити ефективність впливу критеріїв оцінювання експлуатаційного стану

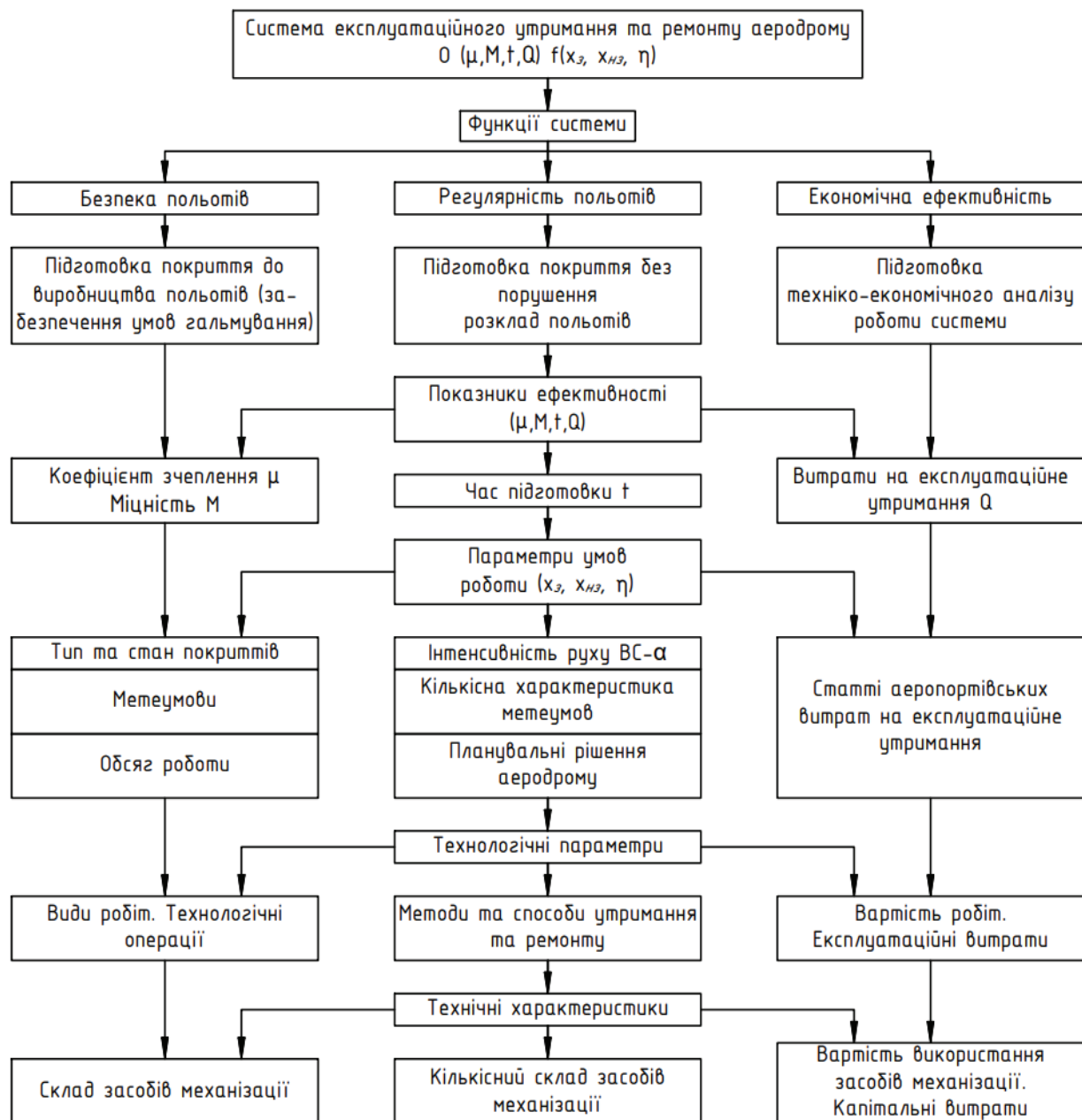


Рис. 2. Структурна схема системи експлуатаційного утримання та ремонту аеродромів (СЕУРА) оцінки експлуатаційного стану аеродрому

аеродромного покриття, що змінюються залежно від впливу комплексу факторів (X_s , $X_{из}$, η) за кожним експериментом. Причому характерною рисою є те, що зі збільшенням одного з факторів впливу на експлуатаційний стан аеродромного покриття не обов'язково збільшуються критерії оцінювання стану (μ , P , t , Q). Це говорить про те, що тільки комплексний вплив вибраних факторів на експлу-

атаційний стан аеродромного покриття призводить до зміни його властивостей.

Викладені вище структурні схеми експлуатації аеродромів і системне оцінювання їх стану є основою створення математичної моделі експлуатації, яка є наближеним значенням усіх процесів експлуатації, що виражається за допомогою математичної символіки.

Список використаних джерел:

1. Наказ Міністерства оборони України від 1 липня 2013 року № 441 (у редакції наказу Міністерства оборони України від 23 вересня 2020 року № 348). Міністерство оборони України. Офіц. вид. Київ, 2020. 100 с.
2. Doc 9157 Aerodrome Design Manual. Part 3: Pavements. 3rd Edition. 2022 (Unedited) (Посібник із проектування аеродромів. Частина 3. Покриття. Третє видання. 2022 (без змін)). URL: <https://www.scribd.com/document/718551321/Aerodrome-Design-Manual-Part-3-Pavements-Doc-9157-Part-3-Edition>.
3. Annex 14: Aerodromes. Volume I: Aerodromes Design and Operations. 9th Edition. July 2022 (Додаток 14. Аеродроми. Том 1. Проектування та експлуатація аеродромів. Дев'яте видання. Липень 2022). URL: <https://news.mcaa.gov.mn/uploads/bookSubject/2022-10/63587f6c9ed35.pdf>.
4. Семон Б. Й. Організація експлуатації аеродромів авіації Збройних Сил України : підручник / Семон Б. Й., Водчиць О. Г. Київ, 2011. 354 с.
5. Цихановський В. К. Уточнений чисельний розрахунок жорстких аеродромних покриттів на слабких ґрунтових основах з урахуванням неоднорідності матеріалу і особливостей стикових елементів плит. Опір матеріалів і теорія споруд : наук.-техн. зб. Київ. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Київ : КНУБА, 2006. Вип. 79. С. 92–100.
6. Karpov V., Stepanchuk O., Dubyk O., Rodchenko O., Prentkovskis O. Improvement of Methodology of Calculation and Assessment of Transport and Operational Condition of Airfield Pavement (on the Example of Airport Pavements of Kyiv and Mykolaiv International Airports). TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. P. 806–823.
7. Талах С. М., Дубик О. М., Лисницька К. М., Ільченко В. В. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану жорстких аеродромних покриттів при взаємодії зі слабкою ґрунтовою основою. Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. праць. Полтава : ПНТУ, 2019. № 1 (52). С. 124–132.
8. Brill D., Kawa I., Ricalde L. Comparative Study of Rigid Pavement Thickness Designs Using FAARFIELD. 2010. URL: https://www.researchgate.net/profile/LiaRicalde/publication/228827909_Comparative_Study_of_Rigid_Pavement_Thickness_Designs_Using_FAARFIELD/links/56674d1208ae8905db8ba608/Comparative-Study-of-Rigid-Pavement-Thickness-Designs-Using-FAARFIELD.pdf [in English].
9. Dubyk O. Improving the monitoring of the operational and technical condition of rigid airfield pavements. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2021. № 2 (57). P. 59–67 [in English].
10. Kawa I., Brill D., Hayhoe G., Kawa B. FAARFIELD – new FAA airport thickness design software. 2007. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/228950995_FAARFIELDNEW_FAA_AIRPORT_THCKNESS_DESIGN_SOFTWARE [in English].

References:

1. Nakaz Ministerstva oborony Ukrayiny vid 1 lyunya 2013 roku № 441 (u redaktsiyi nakazu Ministerstva oborony Ukrayiny vid 23 veresnya 2020 roku № 348) [Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated July 1, 2013 No. 441 (as amended by the Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated September 23, 2020 No. 348)] (2020). *Ministry of Defense of Ukraine*. Kyiv. P. 100 [in Ukrainian].
2. Doc 9157 Aerodrome Design Manual. (2022). Part 3: Pavements. 3rd Edition. 2022 (Unedited). Retrieved from: <https://www.scribd.com/document/718551321/Aerodrome-Design-Manual-Part-3-Pavements-Doc-9157-Part-3-Edition> [in English].
3. Annex 14: Aerodromes. (2022). Volume I: Aerodromes Design and Operations. 9th Edition. Retrieved from: <https://news.mcaa.gov.mn/uploads/bookSubject/2022-10/63587f6c9ed35.pdf> [in English].

4. Semon, B.Y., & Vodchyts, O.G. (2011). Orhanizatsiya ekspluatatsiyi aerodromiv aviatsiyi Zbroynykh Syl Ukrayiny [Organization of operation of aviation airfields of the Armed Forces of Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].
5. Tsykhanovskyi, V.K. (2006). Utochnenyi chyselnyi rozrakhunok zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv na slabkykh gruntovykh osnovakh z urakhuvanniam neodnorodnosti materialu i osoblyvosti stykovykh elementiv plyt [Refined numerical calculation of rigid airfield pavements on weak soil bases with consideration of material heterogeneity and peculiarities of slab joints]. *Opir materialiv i teoriya sporud: nauk.-tekhn. zb.*, 79, 92–100 [in Ukrainian].
6. Karpov, V., Stepanchuk, O., Dubyk, O., Rodchenko, O., & Prentkovskis, O. (2023). Improvement of Methodology of Calculation and Assessment of Transport and Operational Condition of Airfield Pavement (on the Example of Airport Pavements of Kyiv and Mykolaiv International Airports). In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Maruschak, P., Karpenko, M. (eds) *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_79 [in English].
7. Talakh, S.M., Dubyk, O.M., Lysnytska, K.M., & Ilchenko, V.V. (2019). Chyselne modeliuвання napruzhenno-deformovanoho stanu zhorstkykh aerodromnykh pokryttiv pry vzaiemodii zi slabkoiu gruntovoiu основою [Numerical modeling of the stress-strain state of rigid airfield pavements in interaction with a weak soil base]. *Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo: zb. nauk. prats. Poltava: PNTU. №1 (52)*. S. 124–132 [in Ukrainian].
8. Brill, D., Kawa, I., & Ricalde, L. (2010). Comparative Study of Rigid Pavement Thickness Designs Using FAARFIELD. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/LiaRicalde/publication/228827909_Comparative_Study_of_Rigid_Pavement_Thickness_Designs_Using_FAARFIELD/links/56674d1208ae8905db8ba608/Comparative-Study-of-Rigid-Pavement-Thickness-Designs-Using-FAARFIELD.pdf [in English].
9. Dubyk, O. (2021). Improving the monitoring of the operational and technical condition of rigid airfield pavements. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (57), 59–67 [in English].
10. Kawa, I., Brill, D., Hayhoe, G., & Kawa, B. (2007). FAARFIELD – new FAA airport thickness design software. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/228950995_FAARFIELDNEW_FAA_AIRPORT_THCKNESS_DESIGN_SOFTWARE [in English].