УДК 656.71.017.1.057(045)

С.С. Дев'яткіна, канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ВІДМОВИ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ СИСТЕМ АЕРОДРОМІВ

НАУ, кафедра електротехніки і світлотехніки, e-mail: lanasunwshine@mail.ru

Запропоновано новий метод визначення критеріїв відмови підсистем світлосигнальних систем аеродромів, виходячи з критерію забезпечення ними нормованого рівня безпеки польотів.

Вступ

Сучасна світлосигнальна система аеродрому (ССА) містить до тисячі аеродромних вогнів, що розташовані практично по всій території літовища, за певною конфігурацією. Основна мета функціонування ССА – створення світлосигнальної картини для пілотів повітряних кораблів (ПК) під час етапу візуального пілотування – руління, зльоту, заходу на посадку і посадки.

У складних метеорологічних умовах (СМУ) ССА – єдине джерело візуальної інформації для пілотів ПК, тому її технічний стан безпосередньо впливає на рівень безпеки польотів. Світлосигнальна система аеродрому забезпечує візуальний контакт пілота ПК з наземними орієнтирами – аеродромними вогнями, якщо вона відповідає правилам "чотирьох С", тобто нормованим вимогам відповідають її конфігурація, сила світла вогнів, їх кольоровість і зона розповсюдження світлового потоку (англійською мовою всі ці терміни починаються з літери "С") [1].

Отже, вимоги до правила "чотирьох С" визначають технічний стан ССА та її здатність забезпечувати нормований рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування в СМУ.

Під надійністю ССА слід розуміти її властивість, що відображає здатність виконувати потрібні функції протягом заданого проміжку часу. Сучасна ССА складається з окремих підсистем, які вносять однакові зміни у формування світлосигнальної картини, тому ССА вважається справною або працездатною, якщо всі її підсистеми перебувають у належному або працездатному стані. Для визначення показників надійності ССА необхідно визначити модель надійності окремої підсистеми, яка може бути віднесена до класу складних, багатоелементних, неоднорідних, топологічних систем.

Основною проблемою під час моделювання надійності складних топологічних систем є визначення критеріїв їх відмови. Відмова підсистеми ССА (ПССА) характеризується зниженням її інформативності нижче припустимого рівня. Під інформативністю ПССА слід розуміти її властивість створювати таку світлову картину, візуальний контакт з якою забезпечує пілота ПК необхідною і достатньою інформацією про його місцеположення у просторі відносно осі злітно-посадкової смуги (ЗПС).

Зниження інформативності ПССА може привести до таких випадків:

– неможливість установлення візуального контакту з пілотом ПК на момент прийняття рішення про виконання посадки;

– установлення хибного візуального контакту, в результаті якого пілотом ПК приймається неправильне рішення про продовження заходу на посадку.

У другом випадку виникає одна з форм особливої ситуації на борту ПК, як правило, ускладнення умов польоту або складна ситуація, що знижує рівень безпеки польотів.

Запобігання переходу цих ситуацій в аварійну або катастрофічну потребує від екіпажу ПК швидких та правильних дій.

Отже, відмова ПССА – це зниження її інформативності нижче певного рівня, що має стати базою для вибору ознаки чи їх сукупності при визначенні критеріїв відмови ПССА.

Як свідчать матеріали ІСАО [1, п. 1.2.33], зниження інформативності ССА сприяє прийняттю пілотом ПК помилкового рішення про продовження заходу на посадку в той час, коли правильним рішенням є відходження на друге коло.

Аналіз останніх публікацій

Аналіз останніх стандартів ІСАО свідчить про необхідність наукового обґрунтування і розробки критеріїв відмови ССА та її підсистем [1, п. 17.3.7]. Відповідний компетентний орган уповноважен установити мінімальний ступінь працездатності світосигнальної системи, нижче якого недопустимо подальше використання ССА за призначенням. Під мінімальним ступенем працездатності ССА слід розуміти наявність однозначних критеріїв працездатного стану ССА та її підсистем.

Постановка завдання

Конфігурація ПССА створюється певною кількістю аеродромних вогнів та їх взаємним розташуванням. Порушення конфігурації виникає або в разі відмови певної кількості аеродромних вогнів, або у визначеному взаємному розташуванні вогнів, що відмовили. Звідси випливають дві ознаки критерію відмови ПССА – кількісна та топологічна.

Основна проблема полягає у визначенні кількісної ознаки критерію відмови ПССА, тобто максимальної припустимої кількості аеродромних вогнів, що відмовили, при якій ще зберігається інформативність ПССА на нормованому рівні.

Мета цієї роботи – визначення кількісної ознаки критерію відмови ПССА, виходячи з забезпечення ними нормованого рівня безпеки польотів.

Наукове обґрунтування та визначення критеріїв відмови підсистем світлосигнальної системи аеродрому

Визначення та обґрунтування критеріїв відмови ПССА – складна науково-дослідна проблема.

Найбільш достовірні результати можуть бути отримані при застосуванні експериментального методу дослідження цієї проблеми – проведенні натурних випробувань або випробувань на відповідних тренажерах, що моделюють світлосигнальні системи різних категорій. Однак проведення таких натурних випробувань для визначення критеріїв відмови ПССА є дорогою та небезпечною задачею. Крім того, тренажери, які моделюють ССА різних категорій, є також дорогим обладнанням, яке на сьогодні в Україні відсутнє.

У цій статті пропонується новий теоретичний метод визначення кількісної ознаки критерію відмови ПССА на підставі моделювання їх надійності.

Топологічна ознака критерію відмови ПССА полягає у забороні двох суміжних аеродромних вогнів, що відмовили, крім лінійних вогнів і вогнів світлових горизонтів. Її сформульовано у стандартах ІСАО за результатами узагальнення експериментальних і наукових досліджень багатьох країн [1].

Обґрунтування топологічної ознаки критерію відмови ПССА проводиться, виходячи з таких міркувань.

Світлосигнальна система аеродрому є системою, що складається з нормованої кількості підсистем, кожна з яких позначає певну ділянку аеродрому.

Усі ПССА розташовані на ділянці загальною площею більш ніж 0,5 км^2.

Досвідчені пілоти уявляють собі ”ідеальне” зображення ЗПС та підходів до неї у перспективі, тому будь-які відхилення від уявного ідеального зображення будуть стимулювати пілота до певних заходів щодо зміни його місцеположення в просторі відносно осі ЗПС.

За допомогою наукових досліджень та завдяки великому практичному досвіду, що був накопичений за довгий період часу, було встановлено чотири основні елементи, які характеризують світлосигнальну систему аеродрому: конфігурація, колір, сила світла та зона розповсюдження сили світла аеродромних вогнів [1].

Як конфігурація, так і колір надають пілоту інформацію, необхідну для динамічної тривимірної орієнтації. Конфігурація забезпечує інформацію щодо виведення пілота ПК на вісь ЗПС, а колір інформує його про місцеположення в межах цієї системи.

Сила світла та зона розповсюдження сили світла аеродромних вогнів належать до світлотехнічних характеристик, які потрібні для формування відповідної світлосигнальної картини ПССА, що забезпечує необхідний рівень її інформативності.

Пілот ПК ніколи не спостерігає ССА в плані, а завжди в перспективі. Крім того, тільки в простих метеорологічних умовах він бачить її майже повністю. Частіше, особливо у СМУ, пілоту доводиться інтерпретувати елементи наведення – візуальну ділянку вогнів, яка рухається вниз від лобового скла під час руху ПК по глісаді.

Довжина ділянки, яку спостерігає пілот, змінюється залежно від висоти ПК та дальності видимості похилої з кабіни екіпажу. Кількість інформації, яку пілот отримує від порівняно малої ділянки підсистеми вогнів наближення, спостерігаючи її при високій швидкості та низькій видимості, вкрай обмежена.

Дослідження експертів ІСАО [1] довели, що пілоту в середньому необхідно близько 2,5 с для того, щоб перевести увагу від зовнішніх орієнтирів на прилади і назад до зовнішніх орієнтирів. Оскільки сучасний ПК проходить за цей час близько 150 м, пілот повинен установити надійний візуальний контакт за цей час на цій ділянці.

Отже, для успішного здійснення посадки при переході на візуальне пілотування пілот повинен установити надійний візуальний контакт із вогнями світлосигнальної системи на ділянці не менш ніж 150 м.

Порушення правильного співвідношення ”чотирьох С” на цій ділянці може привести до дезорієнтації пілота ПК та спровокувати його неправильні дії, що, у свою чергу, може привести до виникнення особливої ситуації в польоті.

Відмова одного з вогнів на цій ділянці, наприклад, одного з лінійних вогнів у підсистемі вогнів наближення призведе до зменшення видимої ділянки від 150 до 120 м або до появи всередині ділянки провалу. Відстань між сусідніми вогнями збільшиться від 30 до 60 м.

Оскільки ПК постійно рухається, до зони видимості пілота попадають інші вогні наближення і зменшення видимої ділянки через відмову одного вогню можуть бути швидко скомпенсовані завдяки наступному вогню, що попадає до зони видимості пілота.

До гірших наслідків може призвести відмова двох вогнів (”лінійних” або ”одиночних”), що розташовані поряд. У цьому випадку довжина видимої ділянки становить лише 90 м. Якщо відбулася відмова двох суміжних вогнів усередині ділянки, відстань між сусідніми вогнями, які спостерігає пілот, дорівнює 90 м. Умова ”чотирьох С” є повністю порушеною, тому з більшою ймовірністю можна стверджувати, що надійний візуальний контакт на цій ділянці встановлено не буде або він буде помилковим.

Отже, з описаних міркувань можна сформулювати топологічну ознаку критерію відмови – ПССА перебуває в непрацездатному стані, якщо відмовили два або більше суміжних аеродромних вогні. У цьому разі візуальна інформація перекручується настільки, що не може бути корисною для пілота ПК, більш того вона може сприяти встановленню помилкового візуального контакту.

Можна припустити, що підсистеми осьових і бічних вогнів ЗПС ССА II та III категорій резервують одна одну, оскільки надають схожу візуальну інформацію – про вісь і бічну межі одного об’єкта – ЗПС. У разі відмови двох суміжних вогнів підсистеми осьових вогнів ЗПС відстань між двома сусідніми вогнями збільшиться до 30 м або до 60 м, якщо осьові вогні ЗПС розташовані через 30 м. У разі відмови двох суміжних вогнів підсистеми бічних вогнів ЗПС відстань між працездатними вогнями становить 180 м. Імовірність того, що відбудеться відмова двох суміжних вогнів обох підсистем на одній ділянці є такою малою величиною, що нею можна знехтувати.

Така топологічна ознака повинна бути застосована для всіх ПССА, однак вона може бути пом’якшена для підсистем осьових та бічних вогнів ЗПС ССА II та III категорій тільки за наявності результатів додаткових досліджень щодо можливого взаємного інформаційного резервування в двох згаданих підсистемах. Розглянемо суть нового теоретичного методу визначення кількісної ознаки критерію відмови ПССА на підставі моделювання їх надійності.

Для кожної ПССА мають бути визначені мінімальне $K_{\min}$ і максимальне $K_{\max}$ значення кількісної ознаки критерію відмови. Мінімальне значення кількісної ознаки критерію відмови $K_{\min}$ визначається з погляду забезпечення ПССА нормованого рівня безпеки польотів на підставі математичної моделі етапу візуального пілотування, поданої у праці [2].

Докладний алгоритм визначення розроблений у праці [2]. Кожної миті під час фази функціонування ПССА повинні забезпечувати нормований рівень безпеки польотів ПК.

У загальному випадку вважається, що ПССА не обслуговуються протягом 12 год. Це є загальноприйнятою практикою в умовах технічної експлуатації засобів світлосигнального забезпечення польотів в аеропортах України.

Для визначення впливу показників надійності ССА та її підсистем на рівень безпеки польотів у СМУ доведено необхідність використання такого показника, як імовірність виникнення особливої ситуації на етапі візуального пілотування [2]. У нормативному документі [3] значення цієї ймовірності $Q_{\text{о.с ССА н}}$ нормується:

$$Q_{\text{î.ñ ÑÑÀí}} = 10^{-3}\ 1/\text{пос}.$$

Виходячи з того принципу, що всі ПССА несуть однаково важливу візуальну інформацію для пілота ПК на етапі візуального пілотування в СМУ, можна визначити нормоване значення ймовірності виникнення особливої ситуації для одної ПССА – $Q_{\text{о.с ПССА н}}$.

За відомими значеннями показників надійності елементів ПССА, найкращих, які можуть бути досягнуті на даний момент розвитку техніки (аеродромні вогні, регулятори яскравості, кабель, ізолюючі трансформатори), і значеннями $Q_{\text{о.с ПССА н}}$ можливо визначити нормовану імовірність безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів $P_{\text{ПАВ н}}$ за час t (у загальному випадку за 12 год) з використанням математичної моделі етапу візуального пілотування.

Загальний вигляд цієї моделі для окремої ПССА такий:

$$Q_{\text{î.ñ ÏÑÑÀ í}}(t) = [(1 - Đ_{\text{ÎÊ ðð}})Q_{\text{ÏÀÂ}}(t)Q_{\text{ÑÀÊ}}(t) + K_{\text{ä ÏÑÑÀ}}(t)Q_{\text{ÏÑÑÀ}}(t_{\text{â.ï}}) + K_{\text{ä ÏÑÑÀ}}(t)\left[1 - Q_{\text{ÏÑÑÀ}}(t_{\text{â.ï}})\right]\times \times Q_{\text{ÏÑÑÀ}}(t_{\text{ð}}) + Q_{\text{ÏÅÀÂ}}(t)Đ_{\text{ÎÊ ðð}} + Q_{\text{ÏÀÂ}}(t)Đ_{\text{ÎÊ ðð}}]K_{\text{ÑÌÓ}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{о.с ПССА н}}(t)$ – імовірність виникнення особливої ситуації на борту ПК через відмову ПССА за час t; $P_{\text{ПКкр}}$ – імовірність заходу на посадку “критичного” ПК; $Q_{\text{ПАВ}}(t)$ – імовірність відмови підсистеми аеродромних вогнів (ПАВ) за час; $Q_{\text{САК}}(t)$ – імовірність відмови системи автоматизованого контролю технічного стану аеродромних вогнів за час t; $K_{\text{г ПССА}}(t)$ – нестаціонарний коефіцієнт готовності ССА; $Q_{\text{ПССА}}(t_{\text{в.п}})$, $Q_{\text{ПССА}}(t_{\text{р}})$ – імовірності відмови ССА за час візуального пілотування та час руління відповідно; $Q_{\text{ПЕАВ}}(t)$ – імовірність відмови підсистеми електропостачання аеродромних вогнів за час t; $K_{\text{СМУ}}$ – коефіцієнт, який ураховує захід на посадку ПК у СМУ, коли обов’язково застосовується світлосигнальна система.

Математична модель (1) враховує всі ситуації, в яких може перебувати ПССА під час здійснення посадки ПК.

Для спрощення моделі введемо обмеження, які не позначаться на точності остаточних результатів – відмови ПССА за час візуального пілотування та час руління є настільки малоймовірними подіями, що ними можна знехтувати.

Для ПССА, що має систему автоматизованого контролю стану аеродромних вогнів, формула (1) набуває такого вигляду:

$$Q_{\text{î.ñ ïССА í}} / K_{\text{ÑÌÓ}} = (1 - Đ_{\text{ÍÊ êð}}) Q_{\text{ÏÀÂ}}(t) Q_{\text{CÀÊ}}(t) + Q_{\text{ÏÅÀÀÂ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}} + Q_{\text{ÏÀÂ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}} = (1 - Đ_{\text{ÍÊ êð}}) K_{\text{ÀÂ}}(t) Q_{\text{CÀÊ}}(t) + K_{\text{ÃÏ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}} + K_{\text{ÀÂ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}}. \quad (2)$$

Нестаціонарний коефіцієнт аварійного використання ПССА $K_{\text{АВ}}(t)$ характеризує ймовірність відмови ПССА через відмову ПАВ за час t. Нестаціонарний коефіцієнт вимушеного простою ПССА $K_{\text{ВП}}(t)$ характеризує ймовірність відмови ПССА через відмову ПЕАВ за час t.

Указані показники згідно з методикою визначення показників надійності ССА та її підсистем, наведено в праці [2].

Після простих перетворень формули (2) $P_{\text{ПАВ н}}$ за час t матимуть вигляд

$$Đ_{\text{ÏÀÂ í}} = 1 - \frac{\left(Q_{\text{î.ñ ïССА í}} / K_{\text{ÑÌÓ}}\right) - K_{\text{ÍÃ ÏÅÀÀ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}}}{K_{\text{ã ÏÅÀÀ}}(t)\left(Q_{\text{CÀÊ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}} + Đ_{\text{ÍÊ êð}}\right)}.$$

Для ПССА, що не має системи автоматизованого контролю стану аеродромних вогнів, формула (1) набуває вигляду

$$Đ_{\text{ÏÀÂ í}} = 1 - \frac{\left(Q_{\text{î.ñ ïССА í}} / K_{\text{ÑÌÓ}}\right) - K_{\text{ÍÃ ÏÅÀÀ}}(t) Đ_{\text{ÍÊ êð}}}{K_{\text{Ã ÏÅÀÀ}}(t)}. \quad (3)$$

Для того, щоб визначити нормоване значення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за час t, визначимо спочатку нормоване значення ймовірності виникнення особливої ситуації для однієї ПССА – $Q_{\text{о.с ПССА н}}$.

Оскільки всі підсистеми надають однаково важливу візуальну інформацію для пілота ПК на етапі візуального пілотування, то для визначення $Q_{\text{о.с ПССА н}}$ розраховують ймовірність успішного заходу на посадку ПК у СМУ з використанням ССА:

$$P_{\text{ïîñ ÑÑÀ í}} = 1 - Q_{\text{î.ñ ÑÑÀ í}}.$$

Імовірність успішного заходу на посадку, що повинна забезпечуватися однією ПССА, знайдемо як

$$P_{\text{ïîñ ÏÑÑÀ í}} = \sqrt[N_{\text{ÏÑÑÀ}}]{1 - Q_{\text{î.ñ ÑÑÀí}}},$$

де $N_{\text{ПССА}}$ – загальна кількість підсистем у складі ССА.

Для визначення нормованих значень імовірності виникнення особливої ситуації через відмову ПССА певної категорії, враховують лише ті ПССА, що реально впливають на рівень безпеки польотів під час візуального пілотування в умовах експлуатаційних мінімумів I–III категорій.

Логічний аналіз свідчить, що вогні світлових горизонтів у ССА всіх категорій розглядають як складову частину підсистеми вогнів наближення. Підсистема бічних некерованих вогнів рулільної доріжки (РД) для ССА I, II, III категорій не впливає на рівень безпеки польотів, оскільки у разі їх відмови в умовах мінімуму I та II категорій руління ПК може здійснюватися за машиною супроводу. В умовах мінімуму III категорії бічні некеровані вогні РД резервуються керованими вогнями РД, а підсистеми стоп-вогнів та попереджувальних вогнів резервують одна одну.

Крім того, згідно з працею [4], лінії стоп-вогнів додатково дублюються червоними світлофорами надземного типу з обох боків РД.

Отже, для визначення нормованих значень імовірності виникнення особливої ситуації через відмову ПССА кількість ПССА береться такою:

– для ССА I категорії кількість підсистем $N_{\text{ПССА}} = 5$;

– для ССА II категорії кількість підсистем $N_{\text{ПССА}} = 8$;

– для ССА III категорії кількість підсистем $N_{\text{ПССА}} = 9$.

Тоді ймовірність виникнення особливої ситуації на борту ПК через відмову певної ПССА буде визначатися:

– для ССА I категорії:

$$Q_{\text{î.ñ ïÑÑÀ í}} = 1 - \sqrt[5]{1 - Q_{\text{î.ñ ÑÑÀí}}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/пос};$$

– для ССА II категорії:

$$Q_{\text{î.ñ ïÑÑÀ í}} = 1 - \sqrt[8]{1 - Q_{\text{î.ñ ÑÑÀí}}} = 1{,}2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/пос};$$

– для ССА III категорії:

$$Q_{\text{î.ñ ïÑÑÀ í}} = 1 - \sqrt[9]{1 - Q_{\text{î.ñ ÑÑÀí}}} = 1{,}112 \cdot 10^{-4} \text{ 1/пос}.$$

Далі розраховується нормоване значення ймовірності безвідмовної роботи ПАВ за час t (12 год) за формулою (3) для метеорологічних умов, що притаманні кліматичній зоні аеродрому $K_{\text{СМУ}}$ та для певного значення інтенсивності повітряного руху в зоні аеродрому $P_{\text{ПК кр}}$.

Для кліматичної зони України, наприклад, для аеродрому Бориспіль, найпоширеніші значення $K_{\text{СМУ}} = 0{,}01$; $P_{\text{ПК кр}} = 0{,}05$.

Показники надійності, наприклад, підсистеми вогнів наближення

$K_{\text{г ПЕАВ}}(t) = 0{,}997$;

$Đ_{\text{ÏÀÂ í}} = 0{,}98$ 1/пос.

Отже, можна стверджувати, якщо ймовірність безвідмовної роботи ПАВ за 12 год дорівнює або більше нормованого значення, то ПССА забезпечує необхідний рівень безпеки польотів.

Після того, як знайдене нормоване значення ймовірності безвідмовної роботи ПАВ, визначають максимальне значення кількісної ознаки критерію відмови K_{max} за алгоритмом, що розроблений у праці [5]. Основна ідея цього алгоритму полягає в такому. Максимальна припустима кількість аеродромних вогнів, що відмовили, може бути визначена аналітичним методом з урахуванням топологічної ознаки та досягнутого рівня надійності у виробництві окремих елементів обладнання ССА. Показник безвідмовності ССА – імовірність безвідмовної роботи за час між двома плановими перевірками – розраховують залежно від кількості аеродромних вогнів, що відмовили. Застосування цього методу [5] продемонструвало, що починаючи з певної кількості вогнів, які відмовили, K_{max} їх збільшення не приводить до збільшення безвідмовності підсистеми, тобто K_{max} і є максимальним значенням кількісної ознаки критерію відмови ПССА. Цей факт пояснюється тим, що збільшення кількості вогнів, що відмовили, призводить до збільшення ймовірності утворення пари суміжних непрацездатних вогнів.

Висновок

Застосування розробленої методики до визначення критеріїв відмови ПССА аеродромів Бориспіль, Донецьк і Сімферополь продемонструвало, що показники надійності ССА можуть бути об'єктивно забезпечені обслуговуючим персоналом за час між двома плановими перевірками (12 год).

Визначені критерії відмови практично збігалися з вимогами ІСАО до системи технічного обслуговування ССА. Ці вимоги стосуються забезпечення системою технічного обслуговування ССА певних відсотків працездатних вогнів у кожній із ПССА під час виконання польотів у відповідних метеорологічних умовах [6].

За результатами досліджень доведено, що незважаючи на рекомендаційний характер зазначених вимог ІСАО, вони можуть бути використані як критерії відмов ПССА, оскільки мають наукове обґрунтування.

Розроблені критерії відмови ПССА для аеродромів Бориспіль, Донецьк і Сімферополь знайшли практичне застосування під час розроблення керівництв щодо застосування ССА I, II, III категорій у випадках відмов окремих їх елементів.

Література

1. *Руководство* по проектированию аэродромов. Ч. 4. Визуальные средства. – 4-е изд. – 2004. Doc.9157, AN/901.

2. *Дев'яткіна С. С.* Визначення надійності світлосигнальних систем аеродромів на етапах проектування, сертифікації та експлуатації: Дис. ... канд.. техн. наук: 30. 01. – К., 2002. – 240 с.

3. *Единые* нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран-членов СЭВ. Одобрены Постановлением ПКГА СЭВ от 26.11.84. Введены в действие в качестве норм летной годности гражданских самолетов СССР 25.10.85.

4. *Нормы* годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА СССР). – М.: Транспорт, 1992. – 112 с.

5. *Ванецян С.Г., Дев'яткіна С.С., Шишков В.Ф.* Аналіз критеріїв працездатного стану підсистем світлосигнальних систем аеродромів цивільної авіації // Вісн. НАУ. – 2002. – №4. – С. 170–174.

6. *Аэродромы*. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. – 4-е изд. – Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. – 2004. – Июль.

Стаття надійшла до редакції 24.01.06.

Предложен новый метод определения критериев отказа подсистем светосигнальных систем аэродромов, исходя из критерия обеспечения ними нормированного уровня безопасности полетов.

The new method of airfield lighting systems criteria definition, based on providing necessary safety flight level by these systems, is suggested in this article.