

УДК 629.735:656.71.06:621.31 (045)

С.С. Дев'яткіна, канд. техн. наук, доц.

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДСИСТЕМИ АЕРОДРОМНИХ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВНАУ, кафедра електротехніки і світлотехніки
E-mail: lanasunshine@mail.ru*Розроблено модель надійності підсистеми аеродромних глісадних вогнів та сформульовано її критерії відмови.**The reliability model of precision approach path indicator system is considered and its failure criteria are formulated.***Постановка проблеми**

Підсистема глісадних вогнів злітно-посадкової смуги (ЗПС) призначена для візуальної індикації глісади пілота повітряного судна (ПС) на етапі візуального пілотування під час заходу на посадку у простих і складних метеорологічних умовах. Раніше до складу світлосигнальних систем аеродромів більшості аеропортів України підсистема глісадних вогнів не входила, адже згідно з радянськими стандартами не була обов'язковою. Частково її функції виконувала підсистема вогнів знака приземлення, яка інформує пілота про ділянку, де ПС повинно торкнутися ЗПС під час здійснення посадки.

На сьогодні згідно зі стандартами Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) підсистема глісадних вогнів ЗПС є обов'язковою з 1 січня 2008 р. для використання в міжнародних аеропортах, а з 1 січня 2010 р. у всіх аеропортах України [1].

Обладнання світлосигнальних систем більшості аеропортів України потребує або повної заміни, або, принаймні, поетапної модернізації. При проведенні модернізації згідно з вимогами [2] підсистема вогнів ЗПС знака приземлення замінюється підсистемою глісадних вогнів ЗПС. Вимоги щодо проектування підсистеми глісадних вогнів викладено в документах ІКАО [1; 3], однак при проектуванні системи електропостачання виникає проблема доцільності електропостачання підсистеми по двох кабельних лініях.

Згідно з вимогами ІКАО кожен проект має супроводжуватися розрахунком надійності для підтвердження того, що спроектована підсистема не знижує рівня безпеки польотів. Визначення надійності будь-якої технічної системи неможливе без створення моделі надійності і, зокрема, формулювання та наукового обґрунтування її критеріїв відмови [3, пп. 17.3.5, 17.3.7].

Отже, проблема формулювання критеріїв відмови підсистеми глісадних вогнів, визначення та оцінки її показників надійності є своєчасною, актуальною та потребує негайного вирішення.

Аналіз досліджень і публікацій

Аналіз нормативно-технічних документів ІКАО [1; 3] містить основні технічні вимоги до підсистеми глісадних вогнів ЗПС і її елементів – призначення, опис, вимоги щодо застосування, розташування та основних технічних характеристик. Щодо електропостачання глісадних вогнів ЗПС у документі [3] є вимога про електропостачання підсистеми по двох кабельних лініях, яка, однак, ніяк не обґрунтовується [1, п. 8.2].

Порівняльний аналіз нормативних документів України [2, п. 8.2.5.7] і стандартів ІКАО [1, п. 8.2] демонструє суперечливість вимог до підсистеми електропостачання глісадних вогнів ЗПС.

Вітчизняний нормативний документ дозволяє електропостачання по одній кабельній лінії, а документ ІКАО – по двох кабельних лініях.

Отже, проблема проектування системи електропостачання глісадних вогнів ЗПС потребує наукового підходу, адже вона пов'язана не тільки з забезпеченням безпеки польотів, але й з матеріальними витратами на встановлення й експлуатацію глісадних вогнів ЗПС. В обох нормативних документах відсутні критерії відмови підсистеми глісадних вогнів ЗПС, що унеможлиблює визначення її надійності. Основний спосіб вирішення цієї проблеми – формулювання критеріїв відмови та визначення і порівняння показників надійності підсистем глісадних вогнів із різними структурними схемами їх електропостачання. Розробка моделі надійності, формулювання і наукове обґрунтування критеріїв відмови підсистеми глісадних вогнів ЗПС дозволять в подальшому порівняти з позицій надійності та забезпечення нормованого рівня безпеки польотів різні варіанти схем електропостачання підсистеми глісадних вогнів.

Моделювання надійності підсистеми аеродромних глісадних вогнів

Згідно з нормами [1] підсистема глісадних вогнів ЗПС забезпечує захід на посадку незалежно від інших візуальних або невізуальних засобів для заходу на посадку за наявності одної або кількох умов:

– якщо ЗПС використовується турбореактивними або іншими ПС, яким необхідна візуальна інформація про глисадку планування під час заходу на посадку;

– якщо у пілотів ПС будь-якого типу можуть виникнути проблеми при оцінюванні правильності своїх дій під час заходу на посадку через недостатню кількість візуальних орієнтирів над водними поверхнями та над одноманітною місцевістю або через імовірність помилкових дій пілота в разі специфічного характеру місцевості або уклонів ЗПС;

– за наявності висотних перешкод у зоні нормальної траєкторії заходу на посадку, особливо у випадку відсутності невізуальних або візуальних попереджувальних засобів;

– якщо фізичний стан поверхні ЗПС з будь-якого з торців являє небезпеку для пілота ПС у випадку його приземлення з недольотом або перельотом;

– місцевість або метеорологічні умови в зоні аеродрому такі, що ПС може потрапити в зону підвищеної турбулентності під час заходу на посадку.

До стандартної схеми візуальної індикації глисади належать такі системи: T-VASIS (рис. 1, а), AT-VASIS (рис. 1, б), PAPI (рис. 1, в), APAPI (рис. 1, г).

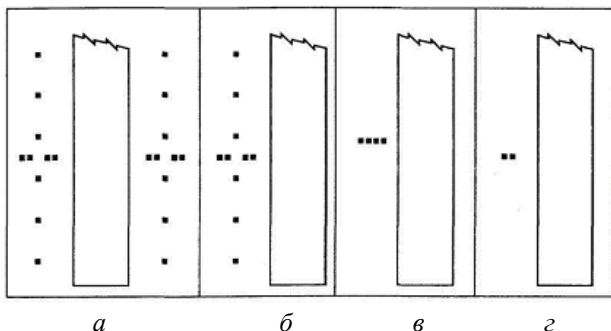


Рис. 1. Приклад різних систем візуальної індикації глисади:

а – T-VASIS; б – AT-VASIS; в – PAPI; г – APAPI

Найпоширенішою для більшості аеродромів України є система візуальної індикації глисади типу PAPI (precision approach path indicator).

Підсистема вогнів візуальної індикації глисади відрізняється від інших підсистем світлосигнальної системи аеродрому. Всі підсистеми світлосигнальної системи позначають певну ділянку ЗПС і є топологічними системами, критерій відмови яких має дві ознаки – кількісну і топологічну. Тобто важлива не тільки загальна кількість елементів, що відмовили, а і їх взаємне розташування.

У кожній із таких підсистем свідомо закладено функціональну надмірність для підвищення надійності підсистеми в цілому і полегшення процесу встановлення візуального контакту пілотом ПС. Кожна підсистема позначає певну ділянку ЗПС і певним чином резервує одна одну.

Наприклад, вхідні вогні ЗПС зеленого кольору і бічні вогні ЗПС на її початку білого кольору позначають торець ЗПС, обмежувальні вогні ЗПС червоного кольору і бічні вогні ЗПС на її кінці жовтого кольору – кінець ЗПС.

Підсистеми осьових і бічних вогнів ЗПС також певною мірою резервують одна одну.

Принцип функціонування підсистеми глисадних вогнів є зовсім іншим. За допомогою цієї підсистеми позначається не окрема ділянка ЗПС, а глисада планування ПС під час заходу на посадку. Система PAPI складається з одного флангового горизонту, до якого належать чотири багатолампових (або здвоєних однолампових) вогні з різким кольоровим переходом, що розміщені через рівні проміжки.

Кожен з чотирьох вогнів надає свій внесок до загальної світлової картини, яка повністю спотворюється в разі відмови будь-якого з вогнів. Таким чином, ця підсистема не має функціональної надмірності.

Крім того, підсистема глисадних вогнів не резервується іншими підсистемами, адже жодна з них не надає інформації про траєкторію зниження ПС під час заходу на посадку.

Фланговий горизонт підсистеми глисадних вогнів виготовляється і встановлюється так, щоб під час заходу на посадку пілот бачив:

– знаходячись на глисаді планування або близько до неї, два вогні, ближчих до ЗПС, червоного кольору, а два вогні, дальніх від ЗПС, білого кольору;

– знаходячись вище глисади планування, один вогонь, ближчий до ЗПС, червоного кольору, а три вогні, дальніх від ЗПС, білого кольору або, знаходячись ще вище глисади, всі вогні білого кольору;

– знаходячись нижче глисади планування, три вогні, ближчі до ЗПС, червоного кольору, а один вогонь, дальній від ЗПС, білого кольору або, знаходячись ще нижче глисади, всі вогні червоного кольору.

У документах ІКАО відсутні критерії відмови підсистеми глисадних вогнів ЗПС. Для їх формулювання проаналізуємо принцип дії та конструкційні особливості глисадних вогнів.

Виходячи з принципу дії підсистеми глисадних вогнів типу PAPI, формулювання її критерію відмови не викликає труднощів – відмова підсистеми відбувається у випадку відмови будь-якого одного з чотирьох вогнів флангового горизонту.

Адже в цьому разі втрачається інформативність підсистеми та пілот може невірно інтерпретувати інформацію про глисаду планування, що призведе до його хибних дій.

У кожному вогні флангового горизонту встановлюється мінімум два джерела світла, що працюють у режимі навантаженого резерву, тобто дублювання. Цей факт логічно пояснити, виходячи з двох припущень:

– сили світла вогню з одним джерелом світла недостатньо для створення необхідного світлового сигналу, отже, два джерела світла є необхідною умовою функціонування окремого вогню флангового горизонту;

– сили світла вогню з одним джерелом світла достатньо для створення необхідного світлового сигналу, а дублювання джерел світла та ізолюваних трансформаторів є необхідною умовою для забезпечення надійності окремого вогню флангового горизонту.

Виходячи з цих двох припущень, можливі два варіанти критерію відмови одного вогню флангового горизонту в підсистемі глісадних вогнів:

– відмова одного вогню флангового горизонту відбувається в разі відмови хоча б одного з двох джерел світла;

– відмова одного вогню флангового горизонту відбувається в разі відмови обох джерел світла у вогні.

Перше припущення малоімовірне, адже є можливість замість двох джерел світла потужністю 200 Вт установити одне джерело світла потужністю 400 Вт з тим самим часом наробітку до відмови. У цьому разі показник безвідмовності вогню буде в два рази вищий, ніж у випадку застосування двох джерел світла.

Однак цей варіант потребує перевірки, адже в разі відмови одного з джерел світла сила світла вогню зменшується майже вдвічі, тому цей вогонь буде спостерігатися пілотом ПС гірше порівняно з іншими трьома вогнями флангового горизонту.

У складних метеорологічних умовах (експлуатаційний мінімум аеродрому I категорії) сили світла одного з вогнів флангового горизонту з джерелом світла, що відмовило, може бути недостатньо для забезпечення інформативності підсистеми глісадних вогнів ЗПС, тобто відмова одного будь-якого джерела світла у вогні призведе до відмови всієї підсистеми.

Друге припущення більш імовірне через те, що у простих метеорологічних умовах (дальність видимості на ЗПС $RVR \geq 1000$ м) така відмова майже не вплине на інформативність системи в цілому, адже дальність видимості на ЗПС є такою, що світловий сигнал буде однозначно інтерпретуватися, навіть при зменшенні його інтенсивності.

Для остаточного вибору одного з двох варіантів критерію відмови необхідно визначити показники надійності за кожним варіантом критерію відмови.

Електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС, як і всіх інших підсистем світлосигнальної системи аеродрому, здійснюється за послідовною схемою через ізолювальні трансформатори. Оберемо варіант електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС із двома кабельними лініями, як це рекомендується в нормативних документах ІКАО [1]. До складу однієї кабельної лінії належать регулятор яскравості, кабель та ізолювальні трансформатори. Відмова будь-якого з елементів електропостачання призводить до відмови всієї підсистеми глісадних вогнів ЗПС.

Надійнісно-функціональну схему підсистеми глісадних вогнів ЗПС із першим варіантом критерію відмови зображено на рис. 2, а, а з другим варіантом – на рис. 2, б.

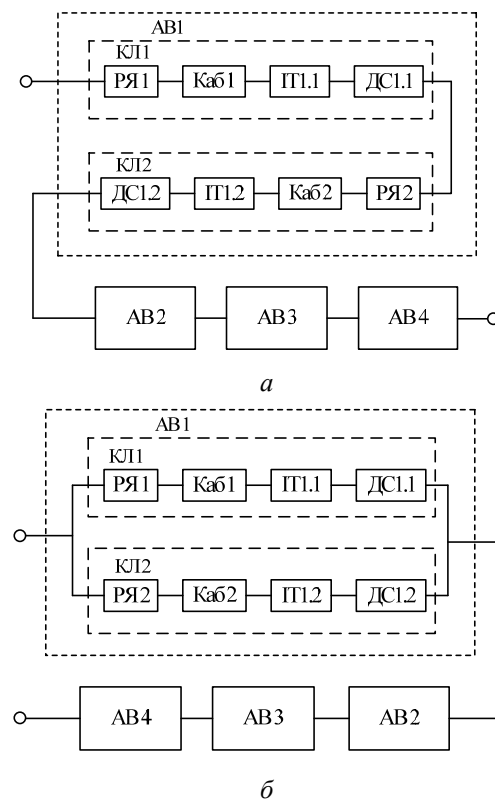


Рис. 2. Надійнісно-функціональні схеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях:

а – перший варіант критерію відмови; б – другий варіант критерію відмови

Вихідні дані для визначення ймовірності безвідмовної роботи за 12 год (час між двома технічними обслуговуваннями) зведено в таблицю. Будемо вважати, що елементи підсистеми глісадних вогнів ЗПС підпорядковуються експоненціальному закону розподілу середнього наробітку до відмови.

**Інтенсивність відмов елементів
підсистеми глісадних вогнів ЗПС**

Показник	Значення, 1/год	Відносне значення
Інтенсивність відмов регулятора яскравості $\lambda_{рЯ}$	10^{-4}	0,1 λ
Інтенсивність відмов кабелю (відмова типу „обрив“) $\lambda_{каб}$	10^{-5}	0,01 λ
Інтенсивність відмов ізолювальних трансформаторів $\lambda_{ТТ}$	10^{-4}	0,1 λ
Інтенсивність відмов джерел світла вогнів $\lambda_{ДС}$	10^{-3}	λ

У цьому разі ймовірність безвідмовної роботи підсистеми за час t визначають за формулою

$$P_{РАPI}(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_0}}$$

Для подальшого аналізу надійності підсистеми відносні значення інтенсивності відмов елементів підсистеми виражені через інтенсивності відмов джерел світла λ , як найбільш ненадійних елементів підсистеми.

Визначимо ймовірності безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів за 12 год для обох варіантів критеріїв відмови і порівняємо їх з нормованим значенням. Інтенсивність відмови одного вогню у складі флангового горизонту (рис. 2, а) визначають за формулою

$$\lambda_{АВ1} = \left(\frac{\lambda_{рЯ1} + \lambda_{каб1}}{4} + \lambda_{ТТ1.1} + \lambda_{ДС1.1} \right) + \left(\frac{\lambda_{рЯ2} + \lambda_{каб2}}{4} + \lambda_{ТТ1.2} + \lambda_{ДС1.2} \right)$$

Загальна кількість вогнів у складі флангового горизонту – чотири, отже, ймовірність безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів за 12 год:

$$P_{РАPI}(t) = e^{-\lambda t} = e^{-4\lambda_{АВ1}t} = e^{-9,02\lambda t}; \quad P_{РАPI}(t) = 0,897$$

Для другого варіанта критерію відмови (рис. 2, б) ймовірність безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів за 12 год визначають як

$$P_{РАPI}(t) = (1 - Q_{КЛ1}(t)Q_{КЛ2}(t))^4 = (1 - (1 - e^{-\lambda_{КЛ1}t})(1 - e^{-\lambda_{КЛ2}t}))^4;$$

$$P_{РАPI} = 0,99928$$

Мінімальне нормоване значення ймовірності безвідмовної роботи за 12 год для підсистеми світлосигнальної системи аеродрому дорівнює $P_{ПССА}(t) = 0,98$ [4].

Отже, з наведених розрахунків випливає, що при електропостачанні глісадних вогнів по двох кабельних лініях у разі першого варіанта критеріїв відмови нормований рівень безпеки польотів не забезпечується, а в разі другого – забезпечується з великим запасом.

Таким чином, перший варіант критеріїв відмови є хибним, адже в цьому разі неможливо спроектувати підсистему глісадних вогнів відповідно до вимог ІСАО, яка б не знижувала рівня безпеки польотів.

Отже, правильним є другий варіант критерію відмови, який логічно підтверджується ще й тим, що підсистема глісадних вогнів переважно використовується в умовах експлуатаційних мінімумів без категорії або І категорії, тому напевне відмова одного з джерел світла у вогні не призведе до зниження його сили світла нижче нормованого значення.

Висновки

1. У більшості аеропортів України проводяться модернізації світлосигнальних систем, тому актуальною є проблема проектування глісадних вогнів ЗПС типу РАPI, яка потребує формулювання її критерію відмови і розробки схеми електропостачання. Аналіз українських і міжнародних нормативних документів демонструє відсутність критеріїв відмови і суперечливість вимог щодо структури електропостачання глісадних вогнів ЗПС.
2. На основі аналізу принципу дії глісадних вогнів ЗПС типу РАPI було сформульовано та науково обгрунтовано її критерій відмови. На підставі сформульованого критерію відмови можливо провести порівняльний аналіз схеми електропостачання підсистеми глісадних вогнів з одною та з двома кабельними лініями.

Література

1. *Аеродроми*. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. – 4-е изд. – 2004, июль.
2. *Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України*. Наказ Державіаслужби України від 17.03.06, № 201//www.avia.gov.ua. Раздел: Аэропорты.
3. *Руководство по проектированию аэродромов*. Ч. 4. Визуальные средства. – 4-е изд. – 2004. – Дос. 9157, AN/901.
4. *Дев'яткіна С.С.* Визначення критеріїв відмови світлосигнальних систем аеродромів / Вісн. НАУ. – 2006. – № 1. – С. 207 – 211.

Стаття надійшла до редакції 18.12.06.