

УДК 629.735:656.71.06:621.31 (045)

С. С. Дев'яткіна, канд. техн. наук

## ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУЧАСНИХ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ СИСТЕМ АЕРОДРОМУ

НАУ, кафедра електротехніки і світлотехніки, E-mail: lanasunshine@mail.ru

*Сформульовано та проаналізовано основні проблеми автоматизації контролю і діагностування технічного стану аеродромних вогнів у сучасних світлосигнальних системах*

*Main problems of monitoring and diagnosis automation of aerodrome lights technical state in modern airfield lighting systems are formulated and analyzed.*

### Постановка проблеми

В умовах низьких експлуатаційних мінімумів рівень безпеки польотів повітряних кораблів (ПК) на етапі візуального пілотування після висоти прийняття рішення визначається правильним функціонуванням світлосигнальної системи аеродрому (ССА).

Працездатний стан ССА під час зльоту, заходу на посадку, посадки і руління є гарантією правильних дій екіпажу ПК навіть у разі відмов бортового обладнання.

Світлосигнальна система аеродрому формує світлову картину, інформативність якої визначається правилом чотирьох «С» – колір, сила світла, конфігурація і зона поширення світлового потоку (в англійському варіанті всі чотири слова починаються з літери «С» – color, candelas, configuration, coverage) [1]. Оскільки у формуванні світлосигнальної картини беруть участь вогні окремих підсистем ССА, то правило чотирьох «С» належать саме до них і порушення кожної зі складових цього правила призводить до спотворення візуальної картини і зниження або втрати інформативності ССА.

Зниження інформативності підсистем ССА найчастіше спостерігається через відмови джерел світла у вогнях, найменш надійних елементах у складі підсистеми. Відмови джерел світла призводять до відмов аеродромних вогнів, і, як наслідок, до порушення правила чотирьох «С», зокрема таких його складових, як сили світла вогнів і конфігурація. Для будь-якої підсистеми ССА критерієм відмови логічно вважати дві ознаки: кількісну і топологічну, тобто кількість непрацездатних вогнів у підсистемі і їх взаємне розташування [1; 2].

Критерії відмови підсистем і ССА в цілому науково обґрунтовано і викладено в праці [3]. Показники надійності ССА, визначені з використанням цих критеріїв, показують, що не всі ССА здатні забезпечити нормовані рівні безпеки

польотів на етапі візуального пілотування в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому I, II категорій за час між двома плановими візуальними перевірками ССА.

Нові ССА закордонного виробництва з джерелами світла, що мають середнє напрацювання до відмови 1500–3000 год, забезпечують нормовані рівні безпеки польотів за час між двома плановими візуальними перевірками ССА, що становить навіть не 12, а 18–20 год.

Розрахунки показників надійності ССА, оцінка їх впливу на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування показують, що ССА старого зразка, типу «Свеча-3», що перебувають в експлуатації в багатьох регіональних аеродромах України, об'єктивно не здатні забезпечити нормований рівень безпеки польотів навіть протягом 4–6 год в умовах експлуатаційних мінімумів I–II категорій. Результати математичного моделювання етапу візуального пілотування [3] свідчать про те, що одним з можливих і раціональних методів забезпечення надійності ССА старого зразка є автоматизація контролю і діагностування аеродромних вогнів у ССА.

Для нових ССА, з високонадійними елементами, ситуація зовсім інша. Ті ж розрахунки демонструють здатність ССА забезпечувати необхідний рівень безпеки польотів протягом 18–20 год. Таким чином, використання засобів автоматичного контролю джерел світла у вогнях нових ССА є більше не засобом забезпечення надійності ССА, а підвищенням ефективності її технічного обслуговування. Наявність засобів автоматичного контролю вогнів ССА дозволяє збільшити час між плановими візуальними перевірками і виконувати обслуговування цілеспрямовано, тобто тих підсистем, що його потребують, а тому відкривають перспективи переходу на стратегію технічного обслуговування ССА за станом з контролем параметрів.

Сучасні регулятори яскравості обладнані засобами автоматичного контролю технічного

стану вогнів у кабельних лініях і автоматично визначають тільки кількість ламп зі зруйнованою ниткою розжарення. Слід зазначити, що витрати на блоки автоматичного контролю стану вогнів, що вбудовуються в регулятори яскравості, цілком окупаються результатами позитивного ефекту.

Деякі виробники світлосигнального обладнання пропонують системи автоматичного діагностування вогнів у кабельних лініях ССА з індикацією місцерозташування ламп, що відмовили. Наприклад, ССА нової злітно-посадкової смуги аеродрому Бориспіль оснащена подібною системою німецького виробництва. Її вартість становить до 40 % від вартості самої ССА, а необхідність використання залишається проблематичною, причому проблематичність стосується глибини діагностування – тільки кількості або кількості і місцерозташування непрацездатних вогнів. Зрозуміло, що виробнику завжди вигідно продати дорогу систему, що реалізує постійний автоматичний контроль і діагностування вогнів у ССА.

Актуальність проблеми полягає в тому, щоб одержати відповідь на питання, чи завжди доцільно споживачеві придбати і використовувати дорогі засоби автоматичного контролю і діагностування вогнів у ССА.

**Мета** статті – обґрунтування потреби в автоматизації контролю і глибини діагностування аеродромних ССА.

### Основні проблеми автоматизації контролю і діагностування технічного стану аеродромних вогнів

В аеропортах України почався активний процес технічного переоснащення обладнання ССА і перед керівництвом багатьох аеропортів постала проблема: чи треба застосовувати автоматизовані системи контролю і діагностування аеродромних вогнів.

Однозначно на поставлене питання відповіді неможливо без проведення математичного аналізу цієї проблеми.

Як математичний аналіз пропонується виконувати математичне моделювання етапу візуального пілотування з урахуванням індивідуальних особливостей аеропорту, таких як інтенсивність повітряного руху, показники надійності світлосигнального обладнання аеродрому, кліматична характеристика аеропорту, що визначає коефіцієнт використання ССА і т.ін.

Будемо досліджувати проблему з використанням моделі, яка дозволяє оцінити вплив показників надійності ССА на рівень безпеки польотів

[3], а також розглядати ССА як з урахуванням систем автоматизованого контролю вогнів, так і без них.

Загальний вигляд математичної моделі для окремої підсистеми ССА має такий вигляд:

$$Q_{o.c. ПКСА \text{ н}}(t) = [(1 - P_{ПК_{кр}}) Q_{ПАВ}(t) \times \\ \times Q_{САК}(t) + K_{Г ПКСА}(t) Q_{ПССА}(t_{в.п}) + \\ + K_{Г ПКСА}(t) P_{ПССА}(t_{в.п}) \times \\ \times Q_{ПКСА}(t_{р.}) + Q_{ПЕАВ}(t) P_{ПК_{кр}} + \\ + Q_{ПАВ}(t) P_{ПК_{кр}}] K_{СМУ},$$

де  $Q_{o.c. ПКСА \text{ н}}(t)$  – ймовірність виникнення особливої ситуації на борту ПК через відмову підсистеми ССА за час  $t = 12$  год;  $P_{ПК_{кр}}$  – ймовірність заходу на посадку «критичного» ПК;  $Q_{ПАВ}(t)$  – ймовірність відмови підсистеми аеродромних вогнів (ПАВ) за час  $t$ ;  $Q_{САК}(t)$  – ймовірність відмови системи автоматизованого контролю (САК) стану аеродромних вогнів за час  $t$ ;  $K_{Г ПКСА}(t)$  – нестационарний коефіцієнт готовності підсистеми ССА;  $Q_{ПССА}(t_{в.п.})$ ,  $Q_{ПССА}(t_{р.})$  – ймовірності відмови підсистеми ССА за час візуального пілотування і за час руління відповідно;  $Q_{ПЕАВ}(t)$  – ймовірність відмови підсистеми електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ) за час  $t$ ;  $K_{СМУ}$  – коефіцієнт, що враховує захід на посадку ПК у СМУ, коли обов'язково використовується ССА.

Математична модель враховує всі ситуації, у яких може перебувати ПССА під час виконання посадки ПК. Для спрощення моделі вводяться обмеження, що не впливають на точність кінцевих результатів:

1. Відмови підсистеми ССА за час візуального пілотування і руління настільки малоймовірні події, що ними можна знехтувати.

2. Розглядаються два випадки: підсистема ССА має САК стану аеродромних вогнів, і підсистема ССА не має такої системи.

Для підсистеми ССА, що має систему автоматизованого контролю, формула (1) набуває вигляду

$$\frac{Q_{o.c. ПССА \text{ н}}}{K_{СМУ}} = (1 - P_{ПК_{кр}}) Q_{ПАВ}(t) Q_{САК}(t) + \\ + Q_{ПЕАВ}(t) P_{ПКСА} + Q_{ПАВ}(t) P_{ПК_{кр}} = \\ = (1 - P_{ПК_{кр}}) K_{АВ}(t) Q_{САК}(t) + \\ + K_{ВП}(t) P_{ПК_{кр}} + K_{АВ}(t) P_{ПК_{кр}},$$

де  $K_{АВ}(t)$  – нестационарний коефіцієнт аварійного використання ПССА, що характеризує ймовірність відмови підсистеми ССА через відмову ПАВ за час  $t$ ;  $K_{ВП}(t)$  – нестационарний коефіцієнт

вимушеною простою ПССА, характеризує імовірність відмови ПССА через відмову ПЕАВ за час  $t$ .

Після простих перетворень формули (2),  $P_{\text{ПАВн}}$  за час  $t$  набуває вигляду

$$P_{\text{ПАВн}} = 1 - \frac{\frac{Q_{\text{о.с ПССАн}}}{K_{\text{СМУ}}} - K_{\text{НГ ПЕАВ}}(t)P_{\text{ПКкр}}}{K_{\text{Г ПЕАВ}}(t)(Q_{\text{САК}}(t)P_{\text{ПКкр}} + P_{\text{ПКкр}})}$$

Для ПССА, що не має системи автоматизованого контролю технічного стану аеродромних вогнів формулу (1) записуємо так:

$$P_{\text{ПАВн}} = 1 - \frac{\frac{Q_{\text{о.с ПССАн}}}{K_{\text{СМУ}}} - K_{\text{НГ ПЕАВ}}(t)P_{\text{ПКкр}}}{K_{\text{Г ПЕАВ}}(t)}$$

Аналіз моделі показує, що розробляти або купувати дорогі системи автоматизованого контролю технічного стану аеродромних вогнів з індикацією розташування вогнів, що відмовили, не має сенсу. Для нових ССА виграш у надійності виявляється мінімальним, а невиправдані витрати на їх розроблення або придбання з наступними витратами на технічне обслуговування роблять ціну забезпечення надійності максимальною.

Доцільно контролювати тільки кількість непрацездатних вогнів, а факт утворення пари серед кількості вогнів, що відмовили, визначати математично-імовірнісним методом.

Це твердження можна аргументувати ще й тим, що не можна розробити систему автоматизованого контролю, яка б контролювала всі параметри аеродромного вогню. Адже відмова аеродромного вогню може виникнути не тільки через відмову джерела світла, а й через відмову оптичної системи і механічної конструкції – арматури вогню. Відмова аеродромного вогню через відмову джерела світла є найбільш імовірною причиною відмови, тому система автоматизованого контролю спрямована на контролювання саме цього параметра. Однак не можна виключати факт відмови і з інших причин (неправильне орієнтування світлового потоку через вплив зовнішніх факторів – снігу, обледеніння, вітру, порушення конструкції вогню і т. ін.), тому автоматизація контролю технічного стану джерел світла у вогнях не виключає періодичного візуального контролю їх технічного стану через потребу контролювати механічні й оптичні конструкції вогню.

Не викликає сумнівів, що система автоматизованого контролю за визначенням місця розта-

шування непрацездатних вогнів дозволяє зафіксувати стан, що передуватиме відмові підсистеми ССА як за кількісною ознакою, так і за топологічною. Однак реалізація можливості визначення місця розташування непрацездатних вогнів більш, ніж на два порядки збільшує вартість системи автоматизованого контролю.

На думку автора, вирішити завдання визначення відмови підсистеми вогнів, що має топологічну ознаку критерію відмови, можна з меншою точністю, однак із меншими матеріальними витратами, імовірнісним методом. Досить підрахувати, за якої кількості вогнів, що відмовили, для конкретної підсистеми імовірність утворення пари (двох суміжних непрацездатних вогнів) стає неприпустимою з позицій безпеки польотів, і ввести це значення в систему аварійної сигналізації.

## Висновки

1. Результати моделювання етапу візуального пілотування свідчать про те, що використання в сучасних ССА систем автоматизованого контролю за визначенням місця розташування вогнів, що відмовили, як засобів забезпечення їх надійності є неефективним навіть в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому I, II категорій, оскільки майже не впливає на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

2. Ефективним засобом підвищення надійності ССА, що перебувають в експлуатації, і сучасних ССА є засоби автоматичного контролю стану вогнів з індикацією тільки кількості непрацездатних вогнів у кабельній лінії і системою імовірнісної констатації відмови підсистеми за топологічною ознакою. Для таких ССА мають бути розроблені і впроваджені спеціальні недорогі системи автоматизованого контролю технічного стану світлосигнальних вогнів, адаптовані до обладнання, що вже перебуває в експлуатації.

## Література

1. *Аэродромы*. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. / Изд. 4-е, июль 2004. – Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.
2. *Руководство по проектированию аэродромов*. Ч. 4. Визуальные средства: 4-е изд. – 2004. Doc.9157, AN/901.
3. Дев'яткіна С.С. Визначення критеріїв відмови світлосигнальних систем аеродромів // Вісн. НАУ. – 2006. – № 1. – С. 207 – 211.

Стаття надійшла до редакції 29.11.07.