

УДК 629.735:656.71.06:621.31(045)

С.С. Дев'яткіна

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ
КАТЕГОРОВАНИХ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ СИСТЕМ АЕРОДРОМІВ**

Розглянуто методику визначення показників надійності категорованих світлосигнальних систем аеродромів за умови існування двох критеріїв відмови – кількісного та топологічного.

Однією з головних проблем авіації є забезпечення нормованого рівня безпеки та регулярності польотів повітряних суден (ПС). В умовах обмеженої дальності видимості світлосигнальна система аеродрому (ССА) є для екіпажу ПС єдиним джерелом візуальної інформації на найбільш відповідальному етапі польоту – етапі візуального пілотування. Таким чином, потрібний рівень надійності ССА є необхідною умовою для виконання безпечних та регулярних польотів на етапі візуального пілотування у простих та складних метеоумовах на аеродромах цивільної авіації.

Забезпечення потрібних рівнів надійності ССА проводиться на всіх етапах її життєвого циклу: проектування, виробництва, сертифікації, експлуатації, оцінки технічного стану ССА. На всіх зазначених етапах до ССА та її елементів треба сформулювати вимоги щодо надійності та визначити відповідність їх цим вимогам. Рівень надійності обладнання, що входить до складу ССА, визначає терміни та обсяг проведення експлуатаційних заходів щодо підтримання його у працездатному стані – планового технічного обслуговування та ремонту. Від надійності ССА залежать також ресурси служби електросвітлотехнічного забезпечення польотів (ЕСТЗП), кількість працівників, запчастин, інструментів та засобів, необхідних для швидкого відновлення ССА.

Відповідно до документа [1] надійність ССА визначається як властивість ССА, що відображає її здатність виконувати потрібні функції протягом заданого проміжку часу в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Надійність є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкта та умов його застосування може містити безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережуваність чи певні поєднання цих властивостей.

З погляду впливу надійності ССА на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування необхідними та достатніми умовами для успішного завершення польоту, коли бортове обладнання та екіпаж ПС функціонують правильно, є два основних фактори:

- працездатний стан ССА у момент установлення пілотом ПС візуального контакту на висоті прийняття рішення;
- знаходження ССА у працездатному стані протягом усього часу взаємодії пілота ПС із ССА.

Показником надійності, який характеризує перший фактор, є комплексний показник – коефіцієнт готовності ССА K_r . Другий фактор характеризується одиничним показником надійності, таким, як імовірність безвідмовної роботи ССА протягом певного періоду часу. Саме ці два показники доцільно використовувати для розрахунку надійності ССА.

Надійність ССА повністю визначається надійністю її складових макроелементів – підсистем ССА та системи керування ССА. Надійність підсистем ССА визначається надійністю їх елементів – аеродромних вогнів та підсистеми електропостачання аеродромних вогнів.

Головною метою служби ЕСТЗП є забезпечення знаходження ССА у працездатному стані під час її використання за призначенням. Працездатний стан ССА – це такий стан ССА, коли всі її елементи працездатні або їх існуючі відмови не виключають можливості її використання в метеоумовах установлені для неї категорії. Аналогічно визначається працездатний стан підсистеми ССА. За наведеними визначеннями ССА та її підсистеми можуть знахо-

дитися у працездатному стані навіть у тому випадку, коли певна частина її елементів відмовила. Отже, ССА та її підсистеми є об'єктами з резервуванням.

Світлосигнальна система аеродрому знаходиться у працездатному стані в тому випадку, коли всі її підсистеми, обов'язкові для використання у складі ССА при заданій категорії метеоумов, є працездатними.

Кожна з підсистем ССА складається з двох частин: підсистеми аеродромних вогнів та підсистеми електропостачання аеродромних вогнів. Відмова підсистеми аеродромних вогнів може виникнути з двох причин:

1) відмови самих аеродромних вогнів з певних внутрішніх причин (відмова джерела світла, оптичної системи чи арматури вогню та ін.);

2) відмови підсистеми електропостачання аеродромних вогнів.

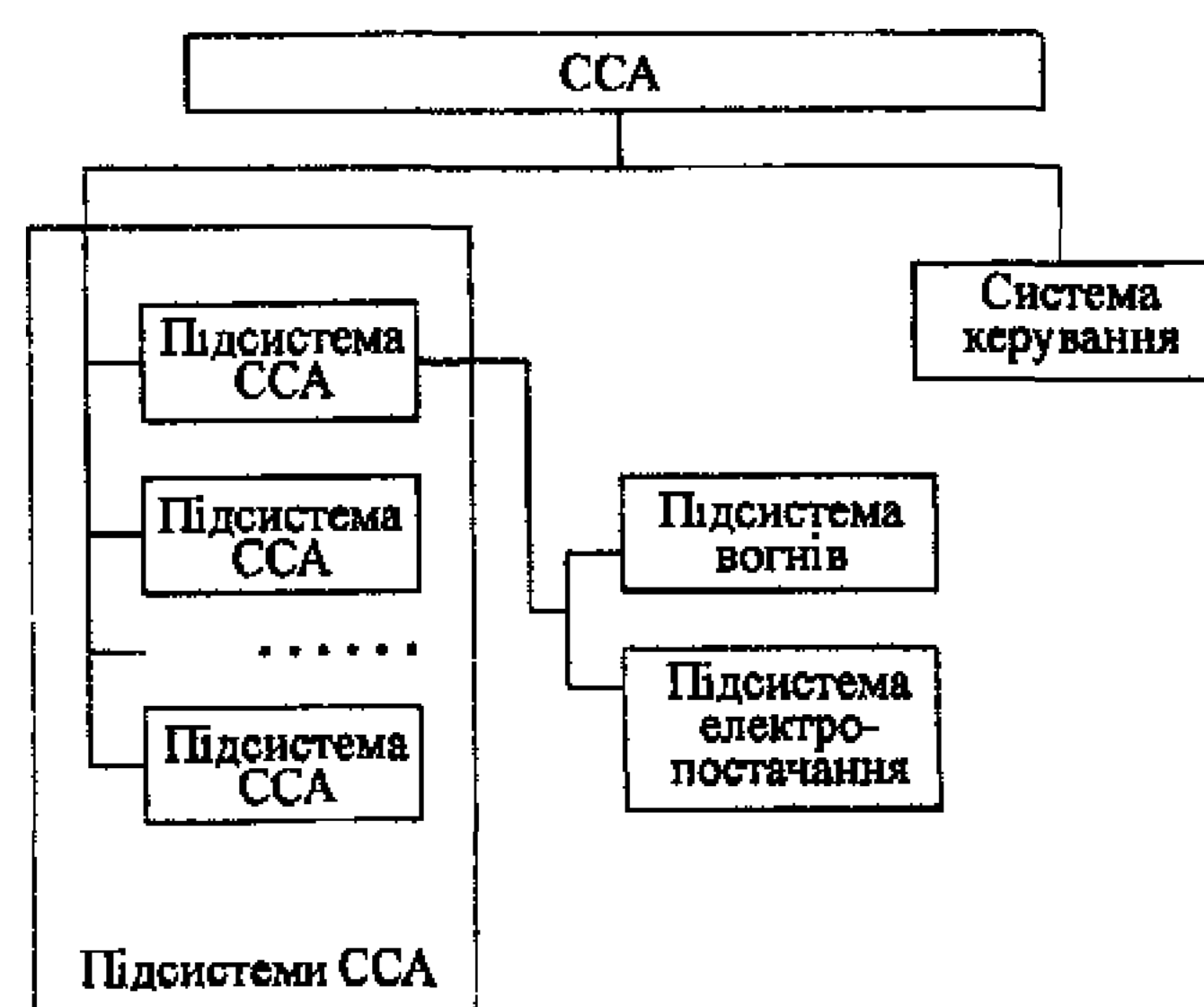
Відмова будь-якого з елементів підсистеми призводить до відмови підсистеми ССА в цілому, тобто всі елементи підсистеми ССА з'єднані послідовно з точки зору їх надійності.

Підсистема аеродромних вогнів є складною системою з великою кількістю елементів, що резервують один одного. У діючих нормативних документах України відсутні конкретні критерії відмови підсистеми ССА. Розроблення цих критеріїв є складною науково-дослідною задачею, тому в подальшому як критерії працездатного стану використовуються рекомендації роботи [2] щодо технічного стану елементів підсистем ССА. Відповідно до цих рекомендацій відмова підсистеми ССА може виникнути з причини відмови кількості аеродромних вогнів більшої, ніж максимально допустима для певної категорії метеоумов.

Під час використання за призначенням підсистема аеродромних вогнів вважається невідновлювальною системою, оскільки у переважній більшості випадків факти відмови аеродромних вогнів у цей час неможливо зафіксувати, а внаслідок цього неможливо визначити стан підсистеми і в разі необхідності провести її аварійне відновлення.

Таким чином, підсистема ССА на інтервалі часу використання за призначенням є комплексною системою, що складається з двох підсистем: відновлювальної підсистеми електропостачання аеродромних вогнів та невідновлювальної підсистеми аеродромних вогнів. Разом з тим, коли використання ССА не потрібно, вона є повністю контрольованою, обслуговуваною та відновлювальною системою. Відповідно до роботи [3] до початку використання ССА за призначенням всі її елементи повинні бути приведені до справного чи працездатного стану службою ЕСТЗП.

Надійність світлосигнальної системи аеродрому можна визначити кількісно на різних стадіях її життєвого циклу. Наприклад, можна оцінити відповідність показників надійності ССА, що знаходиться на стадії проектування, сучасним вимогам щодо безпеки польотів. Якщо результат підрахунку буде незадовільним, то необхідно вжити негайних заходів щодо підвищення рівня надійності системи, але це легше зробити під час проектування, ніж під час експлуатації.



Структурна схема ССА

Світлосигнальна система аеродрому складається з певної кількості функціональних підсистем (див. рисунок).

Пропонована методика дозволяє визначити надійність окремої підсистеми ССА. Для визначення надійності будь-якої системи необхідно знати критерій (або критерії) її відмови. Критерій відмови – це ознака або сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта.

Світлосигнальна система аеродрому є складною топологічною системою з великою кількістю елементів. Для таких систем існує, як мінімум, два критерії, які характеризують непрацездатний стан системи.

Критерій перший – кількісний: система є непрацездатною у випадку відмови більшої, ніж припустимої кількості її елементів. Максимально припустима кількість елементів, що відмовили – K_{\max} .

Критерій другий – топологічний: система є непрацездатною, якщо відмовила певна кількість її суміжних елементів, – M_{\max} .

У документах ІКАО зафіксовані саме ці критерії, але є примітка, що вони не можуть застосовуватися як критерії відмови ССА. Це означає, що, якщо держава застосовує більш жорсткі критерії відмови ССА, вона повинна використовувати їх, а не критерії ІКАО. На даний час у нормативних документах України немає чітко обґрунтованих критеріїв відмови ССА. Для їх визначення необхідно проводити тренажерні та льотні випробування, що вимагає великих грошових витрат. Спеціалісти ІКАО проводили такі випробування, але дані теоретичних викладок і випробувань ІКАО не публікуються. Необхідно перевірити, чи можливо на даному етапі рівня розвитку техніки, прийняти ці критерії як нормативні. Поки це не було зроблено, тому визначення показників надійності ССА буде базуватися на критеріях відмови, запропонованих ІКАО.

Підсистема ССА працездатна в тому випадку, коли підсистема електропостачання аеродромних вогнів і підсистема аеродромних вогнів знаходяться у працездатному стані. Тоді ймовірність безвідмовної роботи підсистеми ССА $P_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}})$ за час використання $t_{\text{вик}}$ визначається за базовою формулою

$$P_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}}) = P_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}})P_{\text{ПАВ}}(t_{\text{вик}}), \quad (1)$$

де $P_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}})$ – ймовірність безвідмовної роботи підсистеми електропостачання аеродромних вогнів за час використання; $P_{\text{ПАВ}}(t_{\text{вик}})$ – ймовірність безвідмовної роботи аеродромних вогнів за час використання.

Ймовірність безвідмовної роботи $P_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}})$ за час використання підсистеми ССА визначається за формулою

$$P_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}}) = P_{\text{КМ}}^{N_{\text{КМ}}}(t_{\text{вик}}),$$

де $N_{\text{КМ}}$ – кількість кабельних мереж у підсистемі; $P_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}})$ – ймовірність безвідмовної роботи кабельної мережі за час використання.

Кабельна мережа знаходиться у працездатному стані в тому випадку, коли всі її елементи працездатні.

Ймовірність безвідмовної роботи кабельної мережі за час використання $P_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}})$ визначається за формулою

$$P_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}}) = P_{\text{РЯ}}(t_{\text{вик}})P_{\text{ВЗК}}^{N_{\text{ВЗК}}}(t_{\text{вик}}), \quad (2)$$

де $P_{\text{РЯ}}(t_{\text{вик}})$ – ймовірність безвідмовної роботи регулятора яскравості за час використання; $P_{\text{ВЗК}}(t_{\text{вик}})$ – ймовірність безвідмовної роботи відрізків з'єднувального кабелю; $N_{\text{ВЗК}}$ – кількість відрізків з'єднувального кабелю.

Враховуючи експоненціальний закон розподілу середнього часу напрацювання на відмову регуляторів яскравості та відрізків з'єднувального кабелю, ймовірності їх безвідмовної роботи за час використання визначаються за відповідними формулами:

$$P_{\text{РЯ}}(t_{\text{вик}}) = e^{-\frac{t}{T_{\text{ОРЯ}}}}; \quad (3)$$

$$P_{\text{ВЗК}}(t_{\text{вик}}) = e^{-\frac{t}{T_{\text{ОВЗК}}}}. \quad (4)$$

Беручи до уваги вирази (3) та (4), формулу (2) можна переписати у більш зручному для розрахунку вигляді:

$$P_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}}) = e^{-t \left(\frac{1}{T_{\text{ОрЯ}}} + \frac{N_{\text{ВЗК}}}{T_{\text{ОВЗК}}} \right)}$$

Імовірність відмови кабельної мережі $Q_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}})$ за час використання розраховується за формулою

$$Q_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}}) = 1 - P_{\text{КМ}}(t_{\text{вик}}).$$

Імовірність відмови підсистеми електропостачання аеродромних вогнів $Q_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}})$ за час використання розраховується за формулою

$$Q_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}}) = 1 - P_{\text{ПЕАВ}}(t_{\text{вик}}).$$

Перейдемо до розгляду підсистеми аеродромних вогнів.

Аеродромний вогонь знаходиться у працездатному стані, коли всі його елементи працездатні. Імовірність безвідмовної роботи аеродромного вогню $P_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}})$ за час використання визначається за формулою

$$P_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}}) = P_{\text{ДС}}(t_{\text{вик}}) P_{\text{ОС}}(t_{\text{вик}}) P_{\text{ІТ}}(t_{\text{вик}}), \quad (5)$$

де $P_{\text{ДС}}(t_{\text{вик}})$ – імовірність безвідмовної роботи джерела світла за час використання; $P_{\text{ОС}}(t_{\text{вик}})$ – імовірність безвідмовної роботи оптичної системи за час використання; $P_{\text{ІТ}}(t_{\text{вик}})$ – імовірність безвідмовної роботи ізолюючого трансформатора за час використання.

Враховуючи експоненціальний закон розподілу середнього часу напрацювання на відмову джерел світла, оптичних систем та ізолюючих трансформаторів, імовірності їх безвідмовної роботи за час використання визначаються за відповідними формулами:

$$\begin{aligned} P_{\text{ДС}}(t_{\text{вик}}) &= e^{-\frac{t}{T_{\text{ОДС}}}}; \\ P_{\text{ОС}}(t_{\text{вик}}) &= e^{-\frac{t}{T_{\text{ООС}}}}; \\ P_{\text{ІТ}}(t_{\text{вик}}) &= e^{-\frac{t}{T_{\text{ОІТ}}}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Беручи до уваги вираз (6), формулу (5) можна переписати у більш зручному для розрахунку вигляді:

$$P_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}}) = e^{-\left(\frac{1}{T_{\text{ОДС}}} + \frac{1}{T_{\text{ООС}}} + \frac{1}{T_{\text{ОІТ}}} \right) t}$$

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів $P_{\text{ПАВ}}(t_{\text{вик}})$ за час використання при кількісному критерії відмови K_{max} розраховується за формулою біномного розподілу

$$P_{\text{ПАВ}}(t_{\text{вик}}) = \sum_{i=N_{\text{АВ}}-K_{\text{max}}}^{N_{\text{АВ}}} C_{N_{\text{АВ}}}^i P_{\text{АВ}}^i(t_{\text{вик}}) Q_{\text{АВ}}^{N_{\text{АВ}}-i}(t_{\text{вик}}), \quad (7)$$

де K_{max} – максимальна припустима кількість елементів, що відмовили; $Q_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}})$ – імовірність відмови аеродромного вогню за час використання:

$$Q_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}}) = 1 - P_{\text{АВ}}(t_{\text{вик}}).$$

Кількість з'єднань з i елементів, яка може бути отримана із загальної кількості $N_{\text{АВ}}$ таких елементів, розраховується за формулою комбінаторики:

$$C_{N_{\text{АВ}}}^i = \frac{N_{\text{АВ}}!}{(N_{\text{АВ}} - i)! \cdot i!}$$

Формула (7) є дещо неповною, тому що вона враховує лише кількісний критерій. Для врахування топологічного критерію при $M_{\max}=2$, тобто у випадку відмови хоча б двох суміжних вогнів підсистема є непрацездатною, слід користуватися спеціально виведеною для цього формулою

$$P_{\text{ПАВ}}(t_{\text{вик}}) = \sum_{i=0}^{K_{\max}} C_{N_{AB}^{-i}+1}^i P_{AB}^{N_{AB}^{-i}}(t_{\text{вик}}) Q_{AB}^{-i}(t_{\text{вик}}). \quad (8)$$

Формула (8) враховує обидва критерії відмови підсистеми вогнів ССА, але за топологічним критерієм вона враховує тільки пари суміжних елементів, що відмовили. Її не можна використовувати, наприклад, для "трійки" суміжних елементів, що відмовили. Але взагалі це і не потрібно, так як у нормативних документах критерієм відмови підсистеми є саме відмова пари суміжних елементів.

Після знаходження всіх згаданих значень остаточний розрахунок $P_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}})$ виконується за формулою (1). Імовірність відмови підсистеми ССА $Q_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}})$ за час використання розраховується за формулою

$$Q_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}}) = 1 - P_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}}).$$

Коефіцієнт готовності підсистеми аеродромних вогнів ССА $K_{\Gamma \text{ПССА}}$ є ймовірністю того, що вона в момент часу t буде знаходитися у працездатному стані, не враховуючи час, спеціально відведений на проведення технічного обслуговування та ремонту:

$$K_{\Gamma \text{ПССА}} = \frac{T_{\text{ОПССА}}}{T_{\text{ОПССА}} + T_{\text{ВПССА}}},$$

де $T_{\text{ВПССА}}$ – середній час відновлення підсистеми аеродромних вогнів.

Середнє напрацювання підсистеми ССА на відмову $T_{\text{ОПССА}}$, як періодично обслуговуваної та відновлювальної системи, визначається за формулою

$$T_{\text{ОПССА}} = \frac{P_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}})}{Q_{\text{ПССА}}(t_{\text{вик}})}(t_{\text{вик}}).$$

Розроблена методика визначення надійності ССА дозволяє визначати основні показники надійності ССА на стадіях проектування і технічної експлуатації. Оцінка надійності ССА з точки зору її впливу на безпеку та регулярність польотів проводиться на наступному етапі відповідно до окремої методики, основні положення якої подані у роботі [4].

Список літератури

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Чинний від 01.01.96.
2. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о Международной гражданской авиации. – Монреаль, 1983. – 206 с.
3. Наставление по электросветотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации СССР (НАЭСТОП ГА-86). – М.: Транспорт, 1987. – 127 с.
4. Азарсков В.М., Дев'яткіна С.С. Надійність світлосигнальної системи аеродрому та безпека польотів на етапі візуального пілотування у складних метеоумовах // Вісн. Центрального наук. центру транспортної акад. України. – 2001. – №4.

Стаття надійшла до редакції 21.01.02.