**АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**КАФЕДРАКОМПЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри комп’ютеризованих
електротехнічних систем та технологій

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Володимир КВАСНІКОВ

 «\_\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 р.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ
РОБОТИ**

**з дисципліни «Надійність контроль та діагностування технічних систем»**

Розробник канд. техн. наук, доцент

Світлана ДЕВ’ЯТКІНА

Міністерство освіти України

Національний авіаційний університет

НАДІЙНІСТЬ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Завдання та методичні вказівки з виконання курсової роботи для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня
«Бакалавр» за спеціальністю 141 ОП «Електротехнічні системи
електроспоживання»

КИЇВ 2023

УДК

ББК

С247

Укладач С.С. Дев’яткіна

Рецензент

Затверджено « » « »2023 року

Надійність, контроль та діагностування технічних систем. Завдання та методичні вказівки з виконання курсової роботи/ Уклад: С.С. Дев’яткіна. - К.:НАУ, 2014-30.

Методичні вказівки містять завдання та рекомендації з виконання курсової роботи з дисципліни «Надійність, контроль та діагностування технічних систем»

Призначені для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «Бакалавр» за спеціальністю 141 ОП «Електротехнічні системи електроспоживання»

# ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Курсова робота (КР) з дисципліни «Надійність, контроль та діагностування технічних систем» виконується з метою закріплення та поглиблення теоретичних знань та вмінь, набутих студентом у процесі засвоєння всього навчального матеріалу дисципліни в області надійності, контролю та діагностування технічних систем на прикладі складних топологічних світлосигнальних систем аеродромів (ССА) цивільної авіації (ЦА).

Виконання КР є важливим етапом у підготовці до виконання дипломної роботи майбутнього бакалавра з електротехніки.

Мета КР міститься у визначенні та оцінці показників надійності підсистеми світлосигнальної системи аеродрому. Актуальність тематики КР підтверджується тим, що діючі стандарти ІСАО вимагають обов’язкове визначення надійності підсистем світлосигнальних систем аеродромів при їх проектуванні та у процесі технічної експлуатації.

Для успішного виконання курсової роботи студент повинен **знати** вимоги нормативних документів ЦА України, стандарти та рекомендації ІСАО у галузі наземних візуальних засобів забезпечення польотів, особливості формулювання науково обґрунтованих критеріїв працездатного стану підсистем ССА різних категорій, **вміти** самостійно розробляти технічне завдання на проектування конкретної підсистеми ССА, науково обґрунтовувати критерії відмови складної технічної системи – підсистеми ССА, визначати та аналізувати показники надійності підсистеми аеродромних вогнів.

Дані методичні вказівки ознайомлюють студентів з основними положеннями кількісного опису надійності ССА. У них визначаються, зокрема, вплив складу та структури ССА на показники його надійності, обґрунтування критеріїв відмови підсистеми ССА, прийняття номенклатури показників надійності та методика розрахунку цих показників по всій номенклатурі

Запропоновані нормовані показники безвідмовності окремих підсистем аеродромних вогнів ССА дозволяють оцінити одержані показники надійності з позицій забезпечення світлосигнальною системою рівнів безпеки польотів, що вимагаються у теперішній час.

4

# 1. Завдання на курсовУ РОБОТУ

Тема курсової роботи: «Визначення та оцінка надійності підсистеми світлосигнальної системи аеродрому ”.

Першим етапом виконання курсової роботи є самостійна розробка студентом технічного завдання. Технічне завдання повинно містити основні задачі, що будуть вирішуватися в курсовій роботі та перелік технічних вимог, яким має відповідати вирішення кожної з задач. На підставі сформульованих технічних вимог має складатися зміст курсової роботи.

В курсовій роботі мають бути вирішені наступні основні задачі:

* обґрунтування складу, структури, конфігурації та комплектності (для підсистеми вогнів наближення) підсистеми ССА з точки зору забезпечення нормованого рівня її надійності;
* визначення та обґрунтування критеріїв відмови підсистеми ССА;
* визначення та оцінка показників надійності підсистеми ССА;

Основні вимоги до змісту матеріалів курсової роботи наступні.

1. В роботі має бути зроблений опис надійності обраної підсистеми ССА відповідно до номера варіанту (див. дод. А), докладне визначення елементів, від надійності яких залежить надійність всій підсистеми. Має бути сформульоване поняття надійності та критерій працездатного стану підсистеми ССА певної категорії.

2. Наведена та обґрунтована структурна схема підсистеми ССА.

3. Визначений кількісний склад та показники надійності елементів, що входять до підсистеми ССА та впливають на її надійність.

4. Розроблена та обґрунтована структурна схема електропостачання аеродромних вогнів обраної підсистеми ССА.

5. Розроблена надійнісно-функціональна схема (НФС) обраної підсистеми ССА та її складових підсистем.

6. Визначено та науково обґрунтовано критерій відмови підсистеми ССА (критерії відмови підсистем ССА згідно нормативно-технічних документів ІСАО подано у дод. Б).

7. Обґрунтовано номенклатуру показників надійності підсистеми ССА.

5

8. Складено докладний алгоритм розрахунку показників надійності підсистеми аеродромних вогнів та визначено показники надійності ССА за обраною номенклатурою.

9. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з нормованими значеннями показників безвідмовності виходячи з критеріїв забезпечення підсистемою ССА нормованих рівнів безпеки польотів на етапі візуального пілотування у складних метеорологічних умовах (СМУ).

* для підсистем ССА типу ВВІ-І нормоване значення нестаціонарного коефіцієнта готовності за 12 год. дорівнює **0,98**;
* для підсистем ССА типу ВВІ-ІІ нормоване значення нестаціонарного коефіцієнта готовності за 12 год. дорівнює **0,988**.

10. Останньою частиною курсової роботи мають бути висновки. У висновках мають бути наведені результати роботи та зпроведена їх оцінка.. В разі необхідності має бути розроблений комплекс організаційно-технічних заходів щодо підвищення показників надійності підсистеми ССА.

6

# 2. Вихідні дані для виконання курсової РОБОТИ

Технічне завдання на курсову роботу складається кожним студентом самостійно, відповідно до номера варіанту і повинно містити перелік основних задач, які потребують вирішення в даній курсовій роботі. Після складання технічного завдання студент має обов’язково узгодити його зміст з викладачем і тільки після цього приступати до виконання курсової роботи.

Вихідні дані для виконання курсової роботи подаються у завданні відповідно до варіанту студента (літера "№" позначає варіант студента – останню цифру номеру залікової книжки).

Підсистема ССА певної категорії обирається студентом згідно з номером залікової книжки (див. дод.1).

Довжина злітно-посадової смуги (ЗПС) приймається такою, що дорівнює 2500 м для ССА типу ВВІ-І і 3500 м – для ССА типу ВВІ-ІІ. Ширину ЗПС в обох випадках можна прийняти рівною 60 м (трансформаторна підстанція знаходиться на відстані 500 м від ЗПС). Враховуються аеродромні вогні тільки для одного напрямку посадки.

Структурна схема підсистеми ССА, структурна і електрична схеми електропостачання підсистеми ССА, критерій відмови підсистеми ССА, кількість аеродромних вогнів і кабельних ліній у підсистемі обґрунтовуються та визначаються студентом самостійно на підставі вимог діючих нормативно-технічних документів та з урахуванням вимог щодо надійності.

Середній сумарний час використання *t*вик підсистеми ССА за призначенням протягом одної доби дорівнює *t*вик = 12 год.

Початкові дані про показники надійності елементів підсистеми ССА визначаються наступним чином.

Середній час наробітку до відмови Т0ДС джерел світла аеродромних вогнів зведено у табл. 1.

Середній час наробітку до відмови *Т*0ОСоптичної системи аеродромних вогнів:

*Т*0ОС = 2500 + 100 × №;

Середній час наробітку до відмови *Т*0 ІТізолювальних трансформаторів (ІТ):

Т0 ІТ = 8000 + 500 × №;

7

Таблиця 1. Дані щодо середнього наробітку до відмови та потужності
джерел світла різних типів аеродромних вогнів

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип аеродромного вогню | Середній час наробітку до відмови *Т*оДС, год. | Потужність ДС,*Р*ДС, Вт |
| Одиночний вогонь прожекторного типу (ПТ) (вогні наближення, вхідні, обмежувальні вогні) | 1500 + 100 × №; | 200 |
| Лінійний вогонь ПТ, заглибленого типу (ЗТ) „трійка” (вогні зони приземлення)(*Р*ДС,  вказана для одного вогню) | 3000 + 100 × №; | 45 |
| Лінійний вогонь ПТ „четвірка” (вогні наближення) | 4000 + 100 × №; | 200 |
| Універсальний лінзовий вогонь (бічні вогні ЗПС, вогні ЗПС знака приземлення) | 2000 + 100 × №; | 150 |
| Одиночний вогонь ЗТ (осьові вогні ЗПС) | 1000 + 100 × № | 100 |

Середній час наробітку на відмову *Т*0 РЯ регулятора яскравості:

*Т*0 РЯ = 6000 + 100 × №;

Середній час наробітку до відмови *Т*0 к кабелю (враховується тільки відмова типу „обрив”):

*Т*0 к = 20000 + 1000 × №;

Середній час відновлення працездатного стану *Т*В КЛ підсистеми електропостачання аеродромних вогнів:

*Т*В КЛ = 0,8 + 0,05 × №;

8

# 3. Основні теоретичні відомості та методичні рекомендації щодо виконання курсовоЇ РОБОТИ

## 3.1 Загальні положення

Однією з головних задач, що стоять перед авіацією, є забезпечення прийнятного рівню безпеки та регулярності польотів повітряних кораблів (ПК). В умовах обмеженої дальності видимості ССА є для екіпажу ПК єдиним джерелом візуальної інформації на найбільш відповідальному етапі польоту – етапі візуального пілотування.

Таким чином, потрібний рівень надійності ССА стає необхідною умовою для виконання безпечних та регулярних польотів на етапі візуального пілотування у простих та складних метеоумовах на аеродромах цивільній авіації.

Забезпечення необхідних рівнів надійності ССА проводиться на всіх етапах її життєвого циклу: при проектуванні, виробництві, сертифікації, а також, під час експлуатації при проведенні оцінки технічного стану ССА. На всіх зазначених етапах до ССА та її елементів треба сформулювати вимоги щодо надійності, та визначити відповідність їх цім вимогам.

Рівень надійності обладнання, що входить до складу ССА, визначає терміни та обсяг проведення експлуатаційних заходів по підтриманню його у працездатному стані – планового технічного обслуговування та ремонту. Від надійності ССА залежать, також, необхідні ресурси служби електросвітлотехнічного забезпечення польотів (ЕСТЗП) – необхідна кількість працівників служби, кількість запчастин, інструментів та засобів, необхідних для швидкого відновлення працездатного стану ССА.

Відповідно до вимог державного стандарту [1] стосовно ССА, надійність ССА визначається, як її властивість, що відображає її здатність виконувати потрібні функції протягом заданого проміжку часу в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [2].

Надійність є комплексною властивістю, що в залежності від призначення об'єкту і умов його застосування може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність та збережуваність або певні поєднання цих властивостей.

9

Для експлуатації ССА найважливішими з показників надійності є показники безвідмовності та ремонтопридатності. Саме вони будуть розглядатися надалі.

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

Головною метою служби електросвітлотехнічного забезпечення польотів (ЕСТЗП) є забезпечення перебування ССА у працездатному стані під час її використання за призначенням. Працездатний стан ССА (стан повної працездатності ССА) – це такий стан ССА, при якому усі її елементи працездатні, або їх існуючі відмови не виключають можливості її використання в метеоумовах встановленої для неї категорії. Аналогічно визначається працездатний стан підсистеми ССА.

Слід звернути увагу на те, що за приведеними визначеннями, ССА та її підсистеми можуть перебувати у працездатному стані навіть у тому випадку, коли певна частина їх елементів відмовила. Таким чином, ССА та її підсистеми є об'єктами з резервуванням. Оскільки усі елементи ССА та її підсистем працюють у однаковому режимі, вказане резервування є навантаженим.

Процеси відмов та відновлень ССА, її підсистем та елементів є випадковими процесами, тому визначення надійності ССА ведеться за допомогою засобів теорії імовірностей. Одним з методів формалізації початкових даних про об'єкт дослідження є побудова НФС, яка представляє вказаний об'єкт у вигляді сукупності складових частин, логічно сполучених певним чином с точки зору надійності [3, 4].

Для аналізу безвідмовності об'єкту будується блок-схема аналізу безвідмовності, що представляє собою структурну схему об'єкту, яка пояснює, яким чином відмови складових частин об'єкта спричиняють його відмову. Надійність ССА та її підсистем досліджується саме таким чином. Необхідними умовами визначення надійності ССА та її підсистем є формулювання їх критеріїв відмови – ознаки або сукупність ознак, що визначають їх непрацездатний стан.

Критерії відмови формулюються окремо для ССА та для її підсистем, адже підсистеми ССА є складними топологічними системами з інформаційним резервуванням.

9

Структурна схема підсистеми ССА зображена на рис.1.

СВІТЛОСИГНАЛЬНА СИСТЕМА АЕРОДРОМУ

Система керування

Функціональні підсистеми

ССА

###### **…..**

ПССА *N*

ПССА 2

ПССА 1

ПАВ

ПЕАВ

КЛ2

КЛ1

Рис. 1. Структурна схема CCА та її підсистем.

## 3.2 Аналіз структурної схеми підсистем ССА

Розглянемо структурну схему ССА. Світлосигнальна система аеродрому складається з певної кількості підсистем і системи керування. У свою чергу, до складу кожної з підсистем ССА входять підсистема аеродромних вогнів (ПАВ) та підсистема електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ).

Відмова підсистеми ССА може виникнути з двох причин:

1) Відмова ПАВ, що спричинена відмовою аеродромних вогнів з певних внутрішніх причин (відмова джерела світла (ДС), оптичної системи (ОС) чи арматури вогню та ін.).

2) Відмова ПЕАВ, через відмови її складових елементів.

10

### 3.2.1 Аналіз ПЕАВ з точки зору надійності

В залежності від типу підсистеми ССА та її категорії до складу ПЕАВ можуть входити одна або кілька кабельних ліній (КЛ). Кабельна лінія – це послідовний електричний ланцюг, що складається з первісних обмоток ізолювальних трансформаторів і кабелю, призначений для передавання електричної енергії від регулятора яскравості аеродромним вогням. У подальшому вважається, що до складу кабельної лінії входить також регулятор яскравості.

Нормативні вимоги до кількості кабельних ліній підсистеми електропостачання аеродромних вогнів для різних підсистем наведено в [5, 6, 7]. Згідно з наведеним визначенням, до складу КЛ входять такі елементи:

1) Регулятор яскравості (РЯ);

2) Кабель;

3) Ізолювальні трансформатори (ІТ).

За допомогою регулятору яскравості здійснюється керування силою струму КЛ та відповідне керування силою світла аеродромних вогнів. Ізолювальні трансформатори здійснюють перетворення напруги та сили струму, що діють у кабельній мережі до значень, що потрібні для електропостачання джерела світла аеродромного вогню, а також забезпечують відсутність відмови кабельної лінії у разі відмови відповідного аеродромного вогню. Кабель з'єднує ізолювальні трансформатори у послідовний електричний ланцюг, вхідні клеми якого підключаються до регулятора яскравості. Надійнісно-функціональна схема кабельної лінії зображена на рис.2.

КЛ

РЯ

Кабель

Рис. 2.Надійнісно-функціонална схема кабельної лінії

Як видно з рисунку, відмова РЯ або відмова кабелю типу „обрив” призводить до відмови кабельної лінії. Таким чином, розглянуті елементи з точки зору надійності з'єднані послідовно. До НФС кабельної лінії не увійшли такі її елементи як ізолювальні трансформатори.

11

Це пояснюється тим, що згідно експлуатаційної статистики відмов елементів ССА, відмова первинної обмотки ізолювальних трансформатора є такою рідкісною подією, що нею можна знехтувати (чого не можна сказати про відмову вторинної обмотки). У подальшому вважається, що усі відмови ізолювальних трансформаторів відбуваються виключно з причини відмови його вторинної обмотки.

У загальному випадку до складу ПЕАВ підсистеми ССА можуть входити одна, дві або три КЛ, але у кожному випадку критерій відмови ПЕАВ формулюється таким чином: відмова одної з КЛ призводить до відмови ПЕАВ. Отже КЛ у складі ПЕАВ вважаються з’єднаними з точки зору надійності послідовно (рис. 3). Такі схеми більш прості, тому під час виконання курсової роботи слід використовувати саме їх.

ПЕАВ

КЛ1

КЛ2

Рис. 3. Надійнісно-функціональна схема (послідовна) ПЕАВ з двома КЛ

Під час використання за призначенням ПЕАВ є відновлюваною системою. Інформація про відмову будь-якої КЛ одразу поступає до диспетчера і, в разі якщо вона призводить до відмови підсистеми ССА та ССА у цілому, повітряним кораблям дається команда піти на друге коло або на запасний аеродром, і починається аварійне відновлення працездатного стану підсистеми ССА. Після його завершення підсистема ССА та ССА в цілому переходить до працездатного стану, і виконання польотів продовжується.

### 3.2.2 Аналіз ПАВ з точки зору надійності

Підсистема аеродромних вогнів являє собою сукупність елементів – аеродромних вогнів, розташованих на території аеродрому за певною схемою. Аеродромний вогонь, в свою чергу, сам складається з таких елементів, як джерело світла, оптична система та арматура вогню (для спрощення розрахунків вважатимемо її абсолютно надійною).

Надійнісно-функціональну схему аеродромного вогню зображено на рис. 4.

12

АВ

ІТ

ДС

ОС

Рис. 4. Структурна схема надійності аеродромного вогню

Як видно з рисунку, відмова будь-якого елемента аеродромного вогню призводить до його відмови в цілому. Таким чином, всі елементи аеродромного вогню з'єднані з точки зору надійності послідовно. До НФС аеродромного вогню віднесено ізолювальний трансформатор (точніше його вторинну обмотку). Це пояснюється тим, що за даними експлуатаційної статистики відмов елементів ССА, найчастіше відмовляє саме вторинна обмотка ізолювального трансформатора, а це призводить до відмови аеродромного вогню, що постачається електроенергією через ізолювальний трансформатор, який відмовив.

В деяких підсистемах ССА (підсистема вогнів наближення – центрального та бокових рядів, підсистема вогнів зони приземлення) використовуються так звані "лінійні" вогні.

Лінійний вогонь це аеродромний вогонь, що складається з трьох або більше одиночних надземних вогнів або вогнів заглибленого типу, розташованих на прямій лінії з таким інтервалом, що пілот повітряного корабля сприймає їх, як світлову смугу. У схемах, що наведені в [5] використовуються лінійні вогні, що складаються з трьох одиночних вогнів, (підсистеми вогнів наближення прожекторного типу бічних рядів і підсистеми вогнів зони приземлення заглибленого типу) та п'яти одиночних вогнів (підсистеми вогнів наближення прожекторного типу центрального ряду).

Відмова лінійного вогню виникає у разі зниження сили його світла на 50%, від номінального значення, тобто при відмові половини або більшості (відповідно двох чи трьох) одиночних вогнів, що входять до його складу. Під час виконання курсової роботи, для спрощення розрахунків рекомендується умовно вважати лінійний вогонь одиночним аеродромним вогнем з заданими показниками надійності всіх його елементів.

13

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. Визначення і обґрунтування цих критеріїв є серйозною науковою задачею, яка має бути вирішена студентом самостійно в рамках даного курсового проекту.

Під час використання за призначенням підсистема аеродромних вогнів вважається невідновлюваною системою, оскільки при відсутності систем автоматичного контролю технічного стану аеродромних вогнів, відмови аеродромних вогнів неможливо зафіксувати негайно, а отже неможливо визначити стан підсистеми і, в разі необхідності, провести її аварійне відновлення.

Таким чином, підсистема ССА на інтервалі часу використання за призначенням є складною багатоелементною системою, що складається з двох підсистем: відновлюваної ПЕАВ та невідновлюваної ПАВ. Разом з тим, у випадках, коли використання ССА не потрібно, вона є повністю контрольованою, обслуговуваною та відновлюваною системою. До початку використання ССА за призначенням, всі її елементи повинні бути приведені до справного чи працездатного стану силами служби електросвітлотехнічного забезпечення польотів.

## 3.3 Надійнісно-функціональні схеми ССА та її підсистем

Відповідно до діючих міжнародних стандартів, світлова інформація від кожної підсистеми ССА є однаково важливою для пілота [6], (“Пілот ПК не повинен продовжувати захід на посадку нижче висоти прийняття рішення згідно мінімуму категорії І доки він чітко не побачить і не розпізнає наступні елементи світлосигнальної системи”. Далі перераховуються практично всі підсистеми ССА.).

Отже критерій працездатного стану ССА для експлуатаційного мінімуму будь якої категорії має бути сформульований таким чином – працездатний стан ССА зберігається у випадку, коли всі підсистеми, що входять до її складу перебувають у працездатному стані :

14

, (1)

де *Р*{*S*CCA(*t*)} – імовірність знаходження ССА у певному стані; *S*п– стан повної працездатності; *S*ПССА, *S*СК – стани ПССА і системи керування (СК) відповідно; *N* – загальна кількість ПССА, що входять до складу ССА.

Надійнісно-функціональна схема для ССА І категорії (без врахування руліжного обладнання) має вигляд, зображений на рис. 5.

Підсистема бічних

вогнів ЗПС

Підсистема вогнів наближення

Підсистема вхідних вогнів ЗПС

Підсистема глісадних вогнівЗПС

Підсистема обмежувальних вогнів ЗПС

Рис. 5. Надійнісно-функціональна схема ССА І категорії.

Для ССА II та III категорій критерій працездатного стану може бути сформульований з урахуванням взаємного резервування підсистем осьових та бокових вогнів ЗПС, але таке резервування потребує додаткового обгрунтування:

 (2)

де *S*нп – непрацездатний стан ССА у призначеній для неї категорії метеоумов; *N*нр, *N*р – загальні кількості ПССА, що входять до групи нерезервованих та резервованих відповідно.

Вирази (1) і (2) формулюють умови працездатного стану ССА для експлуатаційного мінімуму будь-якої категорії – імовірність знаходження ССА у працездатному стані за певний час *t*.

Критерій працездатного стану для ССА у загальному випадку (формула (2)) формулюється так – працездатний стан ССА зберігається за умови працездатного стану усіх її підсистем з групи нерезервованих або хоча б одної підсистем з групи резервованих.

15

## 3.4 Критерії відмови підсистем ССА

Підсистеми ССА на відміну від ССА в цілому є топологічними системами, тому критерії їх відмови визначаються не тільки кількістю елементів, що відмовили, а і їх взаємним розташуванням на території літовища. При певному розташуванні вогнів, що відмовили, наприклад кілька вогнів поряд, пілот ПК може втрати візуальний контакт з ССА, що може привести до втрати орієнтації та виникненню особливої ситуації під час польоту.

Зрозуміло, що критерій працездатного тану і критерій відмови для підсистеми ССА певної категорії – зворотні поняття. Надалі для того, щоб краще пояснити сутність задачі, будемо використовувати обидві поняття.

Таким чином для підсистем ССА, як для багатоелементних, топологічних систем з інформаційним резервуванням критерій відмови повинен складатися з двох ознак [6]:

* кількісна ознака – загальна кількість вогнів підсистеми, що відмовили, при якій підсистема ССА переходить до непрацездатного стану – *Kmax*;
* топологічна ознака – кількість суміжних вогнів, що відмовили, при якій підсистема ССА переходить до непрацездатного стану – *Мmax*.

При відмові певної кількості вогнів у підсистемі світлосигнальна картина, яку бачить пілот, перекручується настільки, що не може служити достовірним джерелом візуальної інформації для пілота ПК. У такому випадку пілот не може отримати необхідну йому інформацію про відстань до ЗПС, або про курс, яким прямує ПК, або про глісаду його планерування. Таким чином можна зробити висновок, про те, що при виконанні умови (3.3) загальний вигляд світлосигнальної картини неприпустимо перекручуються, а підсистема ССА перебуває у непрацездатному стані.

, (3)

де *K* – загальна кількість вогнів у підсистемі, що відмовили на момент часу *t*.

16

Однак відмова підсистеми ССА може виникнути і при невиконанні умови (3).

Припустимо, що , однак відмови вогнів, які мають місце, згруповані таким чином, що світлосигнальна картина буде перекручена. Це може статися у випадку, якщо кілька вогнів, що відмовили, розташовані поряд, тобто є суміжними.

Друга ознака критерію відмови підсистем ССА може бути записана у такому вигляді:

,

де *М* – загальна кількість вогнів у підсистемі, що відмовили на момент часу *t*, розташованих поряд (суміжних).

Отже задача обґрунтування критеріїв відмови підсистем ССА зводиться до знаходження значень кількісної та топологічної ознак – *Kmax* та *Мmax*.

Поставлена задача може бути вирішена за допомогою двох методів:

* метод визначення критеріїв відмови підсистем ССА в результаті проведення тренажерних та натурних досліджень;
* метод теоретичного визначення критеріїв відмови підсистем ССА за допомогою математичних моделей надійності підсистем ССА та математичної моделі процесу взаємодії екіпажу ПК з ССА.

Перший метод – експериментальний – ґрунтується на моделюванні різних відмов підсистем ССА за допомогою авіаційних тренажерів або у реальних льотних умовах з подальшою об’єктивною оцінкою траєкторних параметрів ПК, психофізіологічного стану пілотів при заході на посадку та експертними оцінками цих відмов пілотами ПК. Даний метод потребує проведення тривалих випробувань з використанням спеціальної техніки та участю певної кількості пілотів різних кваліфікацій, а отже, потребує певних витрат часу, матеріальних та людських ресурсів. Крім того результати застосування цього методу не можна назвати в повній мірі об’єктивними, адже кількість пілотів, що приймають участь у експерименті, обмежена, досить важко дотримуватися ідентичності метеоумов, практично неможливо передбачити ролі людського фактору.

16

Головним обмеженням для використання експериментального методу до визначення критеріїв працездатного стану ССА в умовах України є організація таких випробувань, яка потребує наявності матеріальної бази та значних матеріальних витрат.

Однак саме цей метод був застосований англійськими фахівцями з департаменту DERA для перевірки можливості зменшення кількості вогнів у певних підсистемах ССА, та, ймовірно, експертами ІКАО для визначення припустимого відсотка вогнів, що відмовили у певних підсистемах ССА, для обслуговуючого персоналу.

Другий метод визначення критеріїв відмови підсистем ССА – теоретичний – полягає у математичному визначені критеріїв відмови підсистеми ССА на підставі створення математичних моделей надійності складних, топологічних систем та математичних моделей процесу взаємодії екіпажу ПК з ССА.

Вказані моделі були спеціально розроблені для визначення критеріїв відмови підсистем ССА та перевірки можливості їх застосування в умовах експлуатації.

Використання даного методу не потребує значних матеріальних витрат та застосування спеціального обладнання – необхідна лише ПЕОМ та стандартне програмне забезпечення, а отже цей підхід може бути досить просто реалізований і не потребує додаткових затрат на обладнання.

В результаті застосування обраного методу мають бути визначені та обґрунтовані значення кількісної та топологічної ознак критерію відмови підсистем ССА, що ґрунтуються на значеннях показників надійності елементів ССА, які об’єктивно можуть бути забезпечені на даний час виробниками світлосигнального обладнання аеродромів

Світлосигнальна система аеродрому є системою, що складається з певної, нормованої кількості підсистем, кожна з яких позначає певну ділянку аеродрому. Всі підсистеми ССА розташовані на ділянці загальною площею більш ніж 0,5 кв. км.

У своїй уяві досвідчені пілоти уявляють ”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 у просторі.

17

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 (”чотири “С”) [2].

Як конфігурація так і колір надають пілоту інформацію, необхідну для динамічної трьохвимірної орієнтації. Конфігурація забезпечує інформацію по виведенню пілота на необхідний азимут, а колір інформує його про місцеположення у межах даної системи. Сила світла та зона розповсюдження сили світла аеродромних вогнів відносяться до світлотехнічних характеристик, які необхідні для функціонування конфігурації та кольору.

Вогні розміщуються у подовжніх та поперечних рядах відносно осі ЗПС. Ці прямі та незамкнені ряди формують підсистеми, які вказують пілоту на його місцеположення відносно вісі ЗПС. До складу деяких підсистем входять так звані ”лінійні вогні”. ”Лінійні вогні” складаються з трьох – п’яти одиночних вогнів, розташованих на прямій лінії, поперечній осі ЗПС з таким інтервалом, що пілот ПК має сприймати їх як світлову смугу. ”Лінійні вогні” використовуються у підсистемах вогнів наближення та вогнів зони приземлення.

Пілот ПК ніколи не бачить ССА у плані, а завжди у перспективі, крім того, тільки у простих метеорологічних умовах він бачить її майже повністю. Частіше, особливо у СМУ, пілоту доводиться інтерпретувати елементи наведення, що видаються візуальною ділянкою вогнів, що рухається вниз від лобового стекла по мірі руху ПК по глісаді. Довжина ділянки, яку бачить пілот, змінюється в залежності від висоти ПК та наклонної дальності видимості з кабіни екіпажу. Кількість інформації, яку пілот отримує від порівняно малої ділянки схеми вогнів наближення, спостерігаючи її при високій швидкості та низької видимості, є вкрай обмеженою.

Дослідження експертів ІСАО довели, що пілоту в середньому необхідно десь біля 2,5 секунд для того, щоб перевести увагу від зовнішніх орієнтирів на прибори і назад до зовнішніх орієнтирів. Так як сучасне ПК проходить за цей час біля 150 метрів, пілот повинен встановити надійний візуальний контакт за цей час на цій ділянці.

Отже можна стверджувати, що для успішного здійснення посадки, при переході на візуальне пілотування пілот повинен встановити

18

надійний візуальний контакт з вогнями світлосигнальної системи на ділянці не менш ніж 150 метрів.

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 інциденту або, навіть, авіаційної події.

Відмова одного з вогнів на цій ділянці, наприклад, одного з лінійних вогнів у підсистемі вогнів зони приземлення приведе до зменшення видимої ділянки від 150 до 120 метрів, або до появи всередині ділянки провалу (відстань між сусідніми вогнями збільшиться від 30 метрів до 60 метрів). Так як ПК постійно рухається, до зони видимості пілота попадають інші вогні наближення і зменшення видимої ділянки через відмову одного вогню може бути швидко скомпенсоване завдяки наступному вогню, що попадає до зони видимості пілота.

До гірших наслідків може привести відмова двох вогнів (”лінійних” або ”одиночних”), що розташовані поряд. У цьому випадку довжина видимої ділянки складає лише 90 метрів або, якщо відбулася відмова двох суміжних вогнів всередині ділянки, відстань між сусідніми вогнями, які спостерігає пілот складає 90 метрів: умова ”чотирьох С” є повністю порушеною, з великою долею ймовірності можна стверджувати, що надійний візуальний контакт на цієї ділянці встановлено не буде або він буде помилковим.

Отже з описаних міркувань можна виділити топологічну ознаку критерію відмови підсистеми ССА – підсистема ССА знаходиться у стані відмови у разі, якщо відмовили два або більше суміжних аеродромних вогні. Адже основною задачею підсистем ССА є надання достовірної інформації про місцеположення ПК. В разі відмови двох або більше суміжних вогнів певної підсистеми, візуальна інформація перекручується і не може бути корисною для пілота ПК.

Можна припустити, що підсистеми осьових та бокових вогнів ЗПС ССА ІІ та ІІІ категорій резервують одна одну, так як надають схожу візуальну інформацію – про вісь та бокові межи одного об’єкту – ЗПС. В разі відмови двох суміжних вогнів підсистеми осьових вогнів ЗПС відстань між двома сусідніми вогнями збільшиться до 30 метрів (або до 60 м, якщо осьові вогні ЗПС розташовані через 30 м, як на аеродромі Донецьк) при відмові двох суміжних

19

вогнів підсистеми бокових вогнів ЗПС складе 120 метрів. Відмова двох суміжних вогнів обох підсистем на одній ділянці є такою малоймовірною подією, що нею можна знехтувати.

Така топологічна ознака повинна бути застосована для усіх підсистем ССА, однак вона може бути пом’якшена для підсистем осьових та бокових вогнів ЗПС ССА ІІ та ІІІ категорій тільки при наявності результатів додаткових досліджень в галузі можливого взаємного інформаційного резервування у двох згаданих підсистемах.

Для того, щоб визначити значення кількісної ознаки критерію відмови ПССА необхідно знайти значення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за час *t*, причому значення *K* задати змінним. Значення *K* критерію відмови ПССА, що необхідно знайти буде знаходитися у точці перегину функції *Р*АВ(*t*), тобто, у тій точці, де подальше збільшення значення кількісної ознаки критерію відмови не призведе до підвищення надійності ПССА.

Імовірність безвідмовної роботи ПАВ за час функціонування *Р*ПАВ(*t*) без врахування топологічної ознаки критерію відмови має вигляд:

 (4)

де *N*АВ – загальна кількість вогнів у підсистемі; *Р*АВ(*t*) – імовірність безвідмовної роботи аеродромного вогню за проміжок часу між двома перевірками їх технічного стану – *t* = 12год.; *Q*АВ(*t*) – імовірність відмови аеродромного вогню за час *t*.

Для даного випадку, кількість сполучень з *N*АВ елементів по *і* знаходиться за відомою формулою бінома Ньютона;

 (5)

Імовірність безвідмовної роботи ПАВ за час функціонування *Р*ПАВ(*t*) з урахуванням топологічної ознаки критерію відмови знаходиться як:

. (6)

Для випадку, коли враховується ще й топологічна ознака, кількість сполучень з *N*АВ елементів по *і* знаходиться за спеціально розробленою формулою (3):

21

 (7)

Враховуючи експоненціальний закон надійності для елементів підсистем ССА, значення *Р*АВ(*t*) та *Q*АВ(*t*) знаходяться за формулами:

,  (8)

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за 12 годин, як функція кількісної ознаки критерію відмови, буде спочатку зростати зі збільшенням *K*, а потім, починаючи з певного моменту, буде лишатися незмінним, дорівнюючи певному значенню. Це є цілком зрозумілим, адже для багатоелементних систем з інформаційним резервуванням завдання більш м’якого критерію відмови приводить до збільшення ймовірності безвідмовної роботи за певний проміжок часу.

Максимальне значення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за певний проміжок часу без врахування топологічної ознаки буде дорівнювати одиниці, а при врахуванні топологічної ознаки – певному значенню, яке належить проміжку значень від 0 до 1,що ілюструється графіком, рис.3.

Це пояснюється тим, що збільшення значення кількісної ознаки критерію відмови з певного моменту припиняє приводити до росту ймовірності безвідмовної роботи підсистеми за час *t*, адже вступає в дію топологічна ознака – починає впливати ймовірність появи пари (або більше) суміжних елементів, що відмовили.

У точці, де функція безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за час *t* дійде до свого максимального значення і припинить зростати, отримаємо значення кількісної ознаки критерію відмови підсистеми – *К*.

Завдання кількісної ознаки критерію відмови підсистеми більше ніж максимальне *К* не має сенсу, адже не приводить до зростання ймовірності безвідмовної роботи підсистеми за час *t*. Крім того подальше збільшення значення кількісної ознаки критерію відмови підсистеми приведе до спотворення загальної світлосигнальної картини, що формується підсистемою.

22

Рис.3 Графіки залежностей ймовірностей безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів за 12 год. від значення *К* з урахуванням топологічного критерію (*Рпав1*(*К*)) і без урахування топологічного критерію (*Рпав 2*(*К*)).

## 3.5. Кількісний опис надійності ССА та її підсистем

Для кількісної оцінки надійності ССА та її підсистем використовується номенклатура показників надійності, до якої увійшли показники, що характеризують ССА та її підсистеми і як відновлювані, і як невідновлювані об'єкти під час використання за призначенням.

До неї входять наступні показники безвідмовності:

* імовірність безвідмовної роботи об'єкту за період часу використання, *Р*(*t*вик);
* імовірність відмови об'єкту за період часу використання, *Q*(*t*вик);
* середній наробіток об'єкту до відмови, *Т*0;
* середній календарний наробіток об'єкту на відмову, *Т*0к.

23

Показники ремонтопридатності:

* середній час відновлення працездатного стану об'єкту, Тв.

Комплексні показники надійності:

* нестаціонарний коефіцієнт готовності об'єкту, *K*Г(*t*);
* коефіцієнт неготовності об'єкту, *K*НГ(*t*).

Під терміном "об'єкт" може розумітися як ССА в цілому, так і будь-яка з її підсистем.

Початкові дані для розрахунку вказаних показників надійності ССА та її підсистем можна поділити на три основні групи:

Перша група включає:

* категорію ССА, підсистеми ССА;
* дані про склад та структуру підсистеми ССА;
* кількість аеродромних вогнів, у підсистемі, *N*АВ;
* кількість кабельних ліній у підсистемі електропостачання аеродромних вогнів, *N*КЛ;.

Друга група включає дані про показники надійності елементів підсистеми ССА:

* середній наробіток до відмови кожного з елементів аеродромних вогнів, (джерела світла – *Т*0ДС, оптичної системи – *Т*0ОС, ізолювального трансформатору – *Т*0ІТ);
* середній наробіток на відмову регулятора яскравості – *Т*0РЯ, год;
* середній наробіток на відмову кабелю – *Т*0К, год;
* середня тривалість відновлення ПЕАВ – ТВ ПЕАВ, год;

Третя група включає дані про критерії відмови підсистеми ССА:

* кількісна ознака критерію відмови ПССА - *К*max;
* топологічна ознака критерію відмови ПССА - *М*max.

*Примітка*. Вважається, що середній час наробітку до відмови (на відмову) та середній час (тривалість) відновлення всіх перелічених елементів підсистеми ССА розподілені за експоненціальнім законом.

Що стосується даних про режим функціонування підсистеми ССА то вважається, що середній сумарний час використання підсистеми ССА за призначенням на протязі однієї доби - *t*вик, год.

24

## 3.6. Методика визначення показників надійності

## підсистем ССА

Методика визначення показників надійності підсистем ССА базується на класичному методі визначення надійності за допомогою побудови НФС системи [3, 4]

Як вже вказувалося раніше, підсистема ССА знаходиться у працездатному стані в тому випадку, коли підсистема електропостачання аеродромних вогнів і підсистема аеродромних вогнів знаходиться у працездатному стані.

Тоді імовірність безвідмовної роботи підсистеми ССА РПССА (t вик.) за час використання визначається за базовою формулою:

 (9),

де: *Р*ПЕАВ (*t* вик.), *Р*ПАВ (*t* вик.) – імовірності безвідмовної роботи ПЕАВ та ПАВ відповідно.

Імовірність безвідмовної роботи *Р*ПЕАВ (*t*вик.) підсистеми ССА за час використання визначається за формулою:

 (10),

де: *N*КЛ – кількість кабельних ліній у підсистемі; *Р*КЛ (*t* вик.) - імовірність безвідмовної роботи кабельної лінії за час використання

Кабельна лінія знаходиться у працездатному стані в тому випадку, коли всі її елементи знаходяться у працездатному стані.

Імовірність безвідмовної роботи кабельної лінії за час використання *Р*КЛ (*t*вик.) визначається за формулою:

, (11)

де: *Р*РЯ (*t* вик.), *Р*К (*t* вик) – імовірності безвідмовної роботи регулятора яскравості (РЯ) та кабелю за час використання.

Враховуючи експоненціальній закон розподілу середнього часу наробітку до відмову елементів підсистем ССА, імовірності їх безвідмовної роботи за час використання визначаються за відповідними формулами:

;  (12)

Беручи до уваги вирази (12), формулу (11) можна також переписати у більш зручному для розрахунку вигляді:

25

 (13)

Імовірність відмови підсистеми електропостачання аеродромних вогнів *Q*ПЕАВ(*t*вик.) розраховується за формулою:

 (14)

Перейдемо до розглядання підсистеми аеродромних вогнів.

Аеродромний вогонь знаходиться у працездатному стані в тому випадку, коли всі його елементи знаходяться у працездатному стані. Імовірність безвідмовної роботи аеродромного вогню *Р*АВ (*t* вик.) за час використання визначається за формулою:

 (15)

де: *Р*ДС (*t* вик.), *Р*ОС (*t* вик.), *Р*ІТ (*t* вик.) – відповідно імовірності безвідмовної роботи джерела світла. Оптичної системи вогню та ізолювального трансформатору за час використання.

Значення ймовірностей безвідмовної роботи вищеозначених елементів аеродромного вогню визначаються аналогічно (5).

(16)

Беручи до уваги вираз (10), формулу (9) можна також переписати у більш зручному для розрахунку вигляді.

 (17)

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми аеродромних вогнів *Р*ПАВ (*t* вик.) за час використання при прийнятих критеріях відмови розраховується за формулами (4) та (6).

Після знаходження всіх згаданих вище значень остаточний розрахунок *Р*ПССА(*t*вик) виконується за формулою (9). Імовірність відмови підсистеми ССА - QПССА(tвик) за час використання розраховується за формулою:



Далі розраховується нестаціонарний коефіцієнт готовності ПЕАВ, як імовірність застати ПЕАВ в будь-який момент часу у працездатному стані.

26

, (18)

де *λi*  і *μi* – інтенсивність відмов та інтенсивність відновлення *i*-ї КЛ.

Нестаціонарний коефіцієнт готовності підсистеми ССА *K*Г ПССА (*t*) розраховується як імовірність того що підсистема електропостачання аеродромних вогнів у будь який момент часу *t* буде знаходитися у працездатному стані, а підсистема аеродромних вогнів безвідмовно пропрацює на інтервалі часу від початку використання до *t*. Формула має такий вигляд:

, (19)

Коефіцієнт неготовності ПССА визначається як

, (20)

Коефіцієнт вимушеного простою ПССА – імовірність застати ПССА у будь-який момент часу у стані “відмова КЛ, іде непланове відновлення працездатного стану ПССА”

 (21)

Коефіцієнт аварійного використання ПССА - імовірність застати ПССА у будь-який момент часу у стані “відмова ПАВ, інформації про відмову немає”

 (22)

8. Визначається середній час напрацювання між відмовами ПССА

 (23)

9. Визначається середній час відновлення для відновлюваних об’єктів (КЛ ПЕАВ) за формулою

, , (24)

де *Т*В*i* - середній час відновлення *i*-го елементу КЛ ПЕАВ, що відмовила.

Після визначенням показників надійності підсистеми ССА за обраною номенклатурою слід провести порівняльний аналіз отриманих результатів з нормованими значеннями показників надійності і зробити відповідальні висновки. В разі необхідності слід сформулювати організаційно-технічні пропозиції, щодо підвищення та забезпечення показників надійності підсистем ССА.

27

# СПИСОК рекомендованої ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2860 – 94 Надійність техніки. Терміни та визначення; Чин. від 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 92 с.

2. Системи світлосигнальні аеродромні: Термінол. словник. / Уклад. В.М. Азарсков, С.Г. Ванецян, С.С. Дев’яткіна. - К.: НАУ, 2002. - 44 с.

3. Величко Ю.К., Коронин В.Г. Теория надежности: Конспект лекций по курсу “Техническая эксплуатация электро- и приборного оборудования летательных аппаратов”. Часть 1. – К.: КИИГА, 1971. - 120 с.

4. Ванецян С.Г., Величко Ю.К., Козлов В.Д. Обслуживаемые и восстанавливаемые системы: Конспект лекций. - К: КИИГА, 1985. - 56 с.

6. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: в 2 т. / Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.

7. Doc.9157, AN/901. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства. Издание четвертое.

Додаток А

Вихідні дані щодо визначення підсистем ССА згідно номеру варіанта студента

|  |  |
| --- | --- |
| Номерваріанту | Найменування категорій та підсистеми ССА |
| 0 | ССА типу ВВІ-І. Підсистема вогнів наближення з п’ятьма світловими горизонтами (схема Калверта). |
| 1 | ССА типу ВВІ-ІІ. Підсистема бічних вогнів ЗПС прожекторного типу |
| 2 | ССА типу ВВІ-І. Підсистема вогнів наближення прожекторного типу по центральному ряду з лінійними вогнями і одним світловим горизонтом (схема Алпа-Ата) |
| 3 | ССА типу ВВІ-І. Підсистема бічних вогнів ЗПС прожекторного типу. |
| 4 | ССА типу ВВІ-ІІ. Підсистема вогнів зони приземлення заглибленого типу. |
| 5 | ССА типу ВВІ-ІІ. Підсистема осьових вогнів ЗПС заглибленого типу. |
| 6 | ССА типу ВВІ-І. Підсистема обмежувальних вогнів ЗПС прожекторного типу |
| 7 | ССА типу ВВІ-І. Підсистема вхідних вогнів ЗПС прожекторного типу. |
| 8 | ССА типу ВВІ-ІІ. Підсистема обмежувальних вогнів ЗПС прожекторного типу. |
| 9 | ССА типу ВВІ-ІІ. Підсистема бічних вогнів наближення прожекторного типу. |

29

Додаток Б

Критерії відмови підсистем ССА різних категорій згідно нормативно-технічних документів ІСАО

Таблиця 1. Критерії відмови підсистем ССА типу ВВІ-І згідно стандартів ІСАО

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Назва підсистеми ССА | Критерій відмови за ІКАО *K*, % |
| 1 | Вогні наближення центрального ряду, ПТ | 15 |
| 2 | Вхідні вогні ЗПС, ПТ | 15 |
| 3 | Обмежувальні вогні ЗПС, ПТ | 15 |
| 4 | Бічні вогні ЗПС, ПТ | 15 |
| 5 | Вогні знака приземлення | - |

Таблиця 2. Критерії відмови підсистем ССА типу ВВІ-ІІ згідно стандартів ІСАО

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Назва підсистеми ССА | Критерій відмови за ІКАО*K*, % |
| 1 | Вогні наближення центрального ряду, ПТ | 5/15 1 |
| 2 | Вхідні вогні ЗПС, ПТ | 5 |
| 3 | Обмежувальні вогні ЗПС, ПТ | 25 |
| 4 | Бічні вогні ЗПС, ПТ | 5 |
| 5 | Бічні вогні наближення, ПТ | 5 |
| 6 | Вогні ЗПС зони приземлення  | 10 |
| 7 | Осьові вогні ЗПС  | 5 |

Примітка: 1 Критерій відмови ІСАО 5% – на ділянці 0-450 м від торця ЗПС, а 15% – на ділянці 450-900 метрів.

30