



УДК 629.7

**RELIABILITY MODEL OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE
AERODROME GROUND LIGHTS****МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АЕРОДРОМУ****Deviatkina S.S. / Дев'яткіна С.С.***s.t.s., as. professor /к.т.н., доцент*

ORCID: 0009-0001-9495-4213

Yaremich T.I / Яремич Т.І.*s. lector /ст. викладач*

ORCID: 0009-0007-3084-9231

Siryi D.T. / Сірий Д.Т.*s.t.s., as. professor /к.т.н., доцент**National aviation university, Kyiv, Guzara, 1, 03058**Національний авіаційний університет, Київ, Л. Гузара, 1, 03058*

Анотація. Міжнародні стандарти наголошують на тому, що від надійності системи електропостачання аеродромного обладнання залежить рівень безпеки виконання операцій на аеродромі цивільної авіації. До надійності системи електропостачання сучасних світлосигнальних систем аеродромів ставляться певні нормативні вимоги, виконання яких потребує створення математичних моделей для визначення та оцінки їх показників надійності. Розробка таких математичних моделей потребує проведення докладного аналізу системи електропостачання сучасних світлосигнальних систем аеродромів та обґрунтування їх критеріїв відмови. Результати розробки одної з можливих математичних моделей системи електропостачання світлосигнальної системи аеродрому пропонуються у даній роботі.

Ключові слова: світлосигнальна система аеродрому, модель надійності, система електропостачання, безпека польотів, етап візуального пілотування.

Вступ.

Сучасний аеродром цивільної авіації, що має злітно-посадкову смугу, обладнану для забезпечення руління, зльоту та точного і неточного заходів на посадку повітряних суден (ПС) в різних метеорологічних умовах вдень та вночі повинен обов'язково мати систему електропостачання електроспоживачів, яка відповідає вимогам національних та міжнародних нормативно-технічних документів.

До аеродромних споживачів відноситься електротехнічне обладнання, яке забезпечує виконання операцій ПС на аеродромі, наприклад, радіонавігаційне обладнання забезпечення польотів ПС та система зв'язку, наземне світлосигнальне обладнання, метеорологічне обладнання тощо. Не потребує докладного обґрунтування той факт, що забезпечення електропостачанням електроспоживачів такого підприємства, як аеропорт або аеродром є вкрай важливим технологічним процесом, який має відбуватися з високим рівнем надійності, адже важкість наслідків відмови системи електропостачання вкрай висока – від неможливості здійснення основних операцій по обслуговуванню літаків, пасажирів та вантажу, до порушення регулярності польотів та, що абсолютно неприпустимо – до порушення безпеки операцій з ПС на аеродромі та приаеродромній території.



Аналіз нормативно-технічних документів та постановка проблеми

Аналіз національних нормативних документів [1] та міжнародних Стандартів і Рекомендованої практики ІКАО [2, 3] продемонстрував, що до системи електропостачання ССА ставляться жорсткі вимоги. Національний нормативний документ [1, п.8.1] та міжнародний стандарт [2, п. 8.1] одногосно стверджують, що «Безпека польотів на аеродромах залежить від якості електроживлення, що підводиться». В нормативних документах [1, 2] також, містяться вимоги до складу системи електропостачання аеродромних засобів (п.п. 8.1.1., 8.1.2): «Для безпечного функціонування аеронавігаційних засобів на аеродромах забезпечується надійне основне джерело електроживлення. Системи електропостачання, які призначені для аеродромних візуальних і радіонавігаційних засобів, проектується та надаються таким чином, щоб при відмові обладнання пілот не втрачав належного візуального і невізуального контакту з орієнтирами і не отримувал невірної інформації».

Згідно вимог стандартів та рекомендованої практики ІКАО [3, п.18.3.5] (переклад укр.): «В вимогах глави 8 тому I Annex 14 чітко вказано, що з метою забезпечення високого рівня надійності візуальних засобів для обслуговування операцій належним чином, слід приділити увагу конструкції, експлуатації та контролю системи електропостачання. Значення, що визначають експлуатаційну готовність різних візуальних засобів супроводжуються жорсткими допусками. Невід'ємною частиною будь якого проекту повинно стати надійне підтвердження ступеню працездатності системи».

Відповідно до вимог національних та міжнародних стандартів необхідно мати математичну модель для визначення та оцінки рівня надійності системи електропостачання аеродромних систем засобів забезпечення польотів, в тому числі і наземного світлосигнального обладнання, яке забезпечує безпеку операцій на такому важливому етапі польоту, як етап візуального пілотування.

Метою роботи є розробка математичної моделі надійності системи електропостачання наземного світлосигнального обладнання, як одного з найважливіших електроспоживачів аеродрому цивільної авіації.

Математична модель для визначення надійності системи електропостачання світлосигнальної системи аеродрому

Відповідно до вимог вітчизняних нормативно-технічних документів [1], і Міжнародних Стандартів і Рекомендованої практики [2] для світлосигнальної системи аеродрому (ССА) типу Вогні високої інтенсивності II, III категорій час переключення вогню повинен бути не більше ніж 1,0 с. Вказаний факт означає, що система електропостачання ССА повинна складатися, принаймні з двох джерел електропостачання: основного – незалежного джерела та одного резервного автономного джерела.

Найкращим варіантом, що забезпечує час переключення вогню на рівні 1,0 с є використання двох незалежних джерел електропостачання і одного автономного джерела. Як правило, роль резервного автономного джерела електропостачання виконує дизель-електричний агрегат (ДГА).

Для визначення показників надійності такої системи електропостачання, розробимо надійнісно-функціональну схему (НФС), на якій позначимо: G1 та



G2 – два зовнішніх незалежних джерела електропостачання, ДГА – автономне джерело електропостачання (дизель-електричний агрегат), АВР – пристрій автоматичного введення у роботу резервного джерела електропостачання (рис. 1.)

В якості математичної моделі відмови елементів системи електропостачання ССА будемо використовувати формулу експоненціального розподілу випадкової величини – часу виникнення відмови, яка може застосовуватися для більшості технічних систем, в тому числі і систем електропостачання ССА.

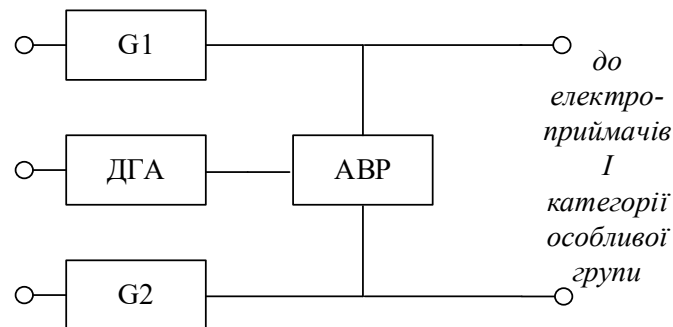


Рис. 1. Надійнісно-функціональна схема електропостачання світлосигнальної системи аеродрому

Вихідними даними для розрахунку є показники безвідмовності – середній час напрацювання на відмову кожного елемента системи.

Критерієм працездатного стану системи є наявність електричної напруги на виході НФС системи, тобто забезпечення електропостачанням електроприймачів I категорії особливої групи.

Як видно з рис.1, НФС системи електропостачання ССА представляє собою схему з містковим з'єднанням елементів в систему. Розрахунок показників безвідмовності такої схеми виконується за допомогою формули повної ймовірності.

Пристрій АВР є елементом, який включений у «містковий перехід» відносно якого слід бути висувати гіпотезу стосовно ймовірності перебування у працездатному стані або у стані відмови.

Для опису сукупності працездатних станів системи розглянемо два несумісних випадки – дві гіпотези:

- Гіпотеза №1 – пристрій АВР перебуває у працездатному стані;
- Гіпотеза №2 – пристрій АВР перебуває у стані відмови.

За умови реалізації гіпотези №1 (про працездатний стан пристрою АВР - $P_{\text{АВР}}(t)$), НФС системи електропостачання буде виглядати наступним чином (рис. 2).

Три елементи системи електропостачання з точки зору надійності з'єднані паралельно, електропостачання ССА існує доки хоча б одне з джерел перебуває у працездатному стані.

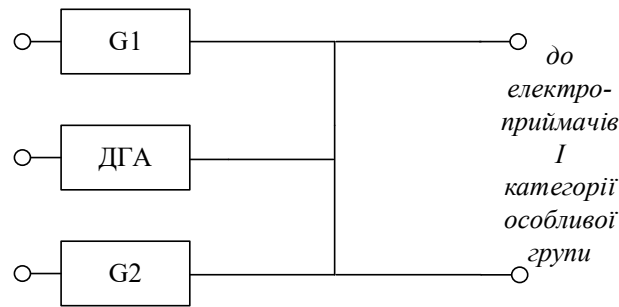
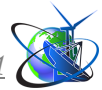


Рис. 2. Надійнісно-функціональна схема системи електропостачання світлосигнальної системи аеродрому за умови реалізації гіпотези №1

Тобто критерій відмови системи формулюється таким чином – відмова системи електропостачання відбудеться у випадку відмови всіх її елементів.

$$P_{Ic}(t) = P_{ABP}(t) \cdot [1 - (1 - P_{G1}(t)) \cdot (1 - P_{G2}(t)) \cdot (1 - P_{ДГА}(t))]$$

За умови реалізації другої гіпотези про стан відмови пристрою АВР – $Q_{ABP}(t)$ – НФС системи електропостачання буде виглядати наступним чином (рис. 3), а електропостачання ССА буде існувати допоки обидва зовнішні джерела електропостачання перебувають у працездатному стані.

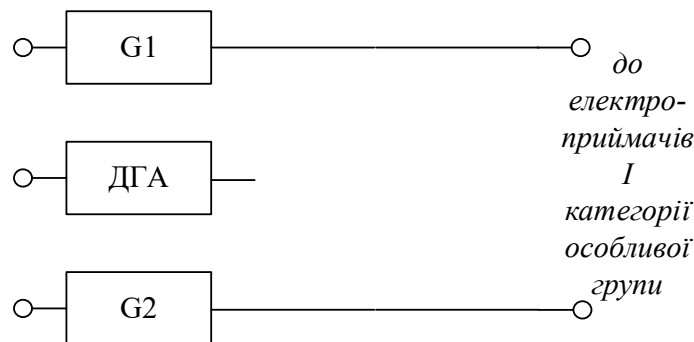


Рис. 3. Надійнісно- функціональна схема системи електропостачання світлосигнальної системи

Відмова системи електропостачання відбудеться тоді, коли до стану відмови перейде хоча б одне зовнішнє джерело електропостачання.

Аналітично реалізацію другої гіпотези можна описати наступним виразом:

$$P_{IIc}(t) = (1 - P_{ABP}(t)) \cdot P_{G1}(t) \cdot P_{G2}(t)$$

Ймовірність безвідмовної роботи всієї системи електропостачання за час t буде визначатися, як сума ймовірностей реалізацій обох випадків, тобто

$$P_c(t) = P_{Ic}(t) + P_{IIc}(t)$$

Таким чином, загальна математична модель для визначення ймовірності безвідмовної роботи системи електропостачання аеродромних світлосигнальних вогнів за час t буде мати вигляд:

$$P_{ССА}(t) = P_{ABP}(t) \cdot [1 - (1 - P_{G1}(t)) \cdot (1 - P_{G2}(t)) \cdot (1 - P_{ДГА}(t))] + (1 - P_{ABP}(t)) \cdot P_{G1}(t) \cdot P_{G2}(t)$$



На жаль, важко знайти достовірні вихідні дані сучасних елементів системи електропостачання ССА. Тому скористаємося вихідними даними щодо показників надійності елементів системи електропостачання ССА з джерела [4], які зведені в таблицю 1 для орієнтовного визначення показників надійності всієї системи.

Таблиця 1 - Вихідні дані для визначення показників надійності системи електропостачання ССА

№ п/п	Назва елемента системи електропостачання ССА	Найменування показника надійності	Значення показника
1	Одно з двох незалежних джерел електропостачання для ССА	Стаціонарний коефіцієнт вимушеного простою	7×10^{-6}
2	Незалежне джерело електропостачання (ДГА)	Стаціонарний коефіцієнт вимушеного простою	34×10^{-5}
3	Пристрій АВР	Стаціонарний коефіцієнт готовності	0,99

Джерело [4].

Вважатимемо, що вимушений простою джерела електропостачання відбувається через його відмову, що для системи з планово-попереджувальною стратегією технічного обслуговування є вкрай малоїмовірною подією, як видно з таблиці 1. Сучасні пристрої АВР є, також, високонадійними елементами, зі значенням стаціонарного коефіцієнта готовності не менше 0,99.

За останньою наведеною формулою при підстановці відповідних вихідних даних отримаємо значення стаціонарного коефіцієнту готовності системи електропостачання ССА:

$$K_{Г\text{ СЕ ССА}} = 0.99999986$$

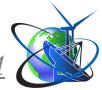
Тоді значення стаціонарного коефіцієнту неготовності системи електропостачання ССА буде дорівнювати:

$$K_{НГ\text{ СЕ ССА}} = 1 - K_{Г\text{ СЕ ССА}} = 1.4 \cdot 10^{-7}$$

Аналіз значення коефіцієнту неготовності системи електропостачання ССА свідчить про те, що він є співрозмірним з «глобальним рівнем ризику» катастрофи – 10^{-7} (1/операцію), що наводиться в міжнародному стандарті [5].

Ризик щодо безпеки польотів при такій відмові системи електропостачання ССА буде ще меншим, адже для його визначення має бути врахована ймовірність неправильних дій пілота ПС, який відповідно до Інструкції з виконання польотів при такій відмові наземних засобів забезпечення польотів повинен здійснити маневр відходу на друге коло, щоб компенсувати загрози, що реалізувалися і попередити авіаційну подію з катастрофічними наслідками.

Таким чином, не можна стверджувати, що відмова системи електропостачання ССА напряму приводить до катастрофи ПС, тому очевидно, що при таких значеннях коефіцієнту неготовності системи електропостачання ССА, ризику щодо безпеки польотів, що можуть бути потенційно створені через її відмову, є цілком прийнятними.



Висновки

1. Розглянутий варіант електропостачання ССА з використанням двох незалежних джерел електроенергії та одного автономного джерела відповідає вимогам національних та міжнародних нормативно-технічних документів та забезпечує нормований час переключення вогню при відсутності безперебійного джерела електропостачання.

2. Сформульовано критерії відмови та розроблено математичну модель надійності системи електропостачання ССА з усіма необхідними обґрунтуваннями.

3. При підстановці вихідних даних щодо показників надійності елементів системи електропостачання, отримані значення коефіцієнту неготовності системи, яке оцінене, як прийнятне. Така оцінка підтверджується досвідом експлуатації сучасних систем електропостачання ССА, відмови яких є вкрай мало ймовірними подіями.

Література:

1. Наказ Державної авіаційної служби України №1841 від 24.11.2021 р. Про затвердження сертифікаційних вимог до аеродромів.

2. Annex 14 to the Convention of International Civil Aviation. Aerodromes. Volume I. Aerodrome Design and Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 9th edition, 2022, ISBN 978-92-9265-735-2.

3. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 5. Electrical systems. ICAO International Standards and Recommended Practice, 2nd edition, 2017.

4. Электросветосигнальное оборудование аэродромов/ Фрид Ю.В., Величко Ю.К., Козлов В.Д., и др. – М.; Транспорт, 1988. – 318 с.

5. Doc 9365. Manual of All-Weather Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 4th edition, 2017. ISBN 978-92-9258-235-7.

***Abstract.** International standards emphasize that the level of safety of civil aviation operations depends on the reliability of the airfield power supply system. The reliability of the power supply system of modern airfield lighting systems is subject to certain regulatory requirements, the fulfillment of which requires the creation of mathematical models to determine and evaluate their reliability measures. The development of such mathematical models requires a detailed analysis of the power supply system of modern airfield lighting systems and justification of their failure criteria. The result of the development of one of the possible mathematical models of the power supply system of the airfield lighting system is offered in this paper.*

***Key words:** airfield lighting system, reliability model, power supply system, flight safety, visual piloting stage.*

Стаття відправлена: 11.08.2024р.

© Дев'яткіна С.С., Яремич Т.І., Сірий Д.Т.