

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри

_____ В.П. Квасніков
“ _____ ” _____ 2021 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Системи електропостачання вогнів візуальної індикації
глісади»

Виконавець
студентка гр. 416 АКФ
Гізнатуллїна Маргарита Едуардївна

Керівник
канд. техн. наук, доцент
Дев'яткіна Світлана Сергїївна

Нормоконтролер
канд. техн. наук, доцент
Катаєва Марія Олександрівна

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Квасніков

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Гіззатулліної Маргарити Едуардівни

(П.ІБ. випускника)

1. Тема проекту «Системи електропостачання вогнів візуальної індикації глісади» затверджена наказом ректора від «29.04.2021» № 686/ст
2. Термін виконання проекту: з 10.05 по 14.06.21
3. Вихідні дані до проекту: підсистема світлосигнальної системи аеродрому – вогні візуальної індикації глісади типу РАРІ, показники безвідмовності елементів світлосигнального обладнання, період часу між двома технічними обслуговуваннями підсистеми.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, 4 розділи, висновки, список бібліографічних посилань використаних джерел
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: схематичне зображення підсистеми електропостачання вогнів візуальної індикації глісади, надійнісно-функціональні схеми системи електропостачання, презентація на тему дипломної роботи.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	13.05–19.05.21	
2.	Розділ 1. Аналіз підсистеми глісадних вогнів ЗПС	20.05–27.05.21	
3.	Розділ 2. Схеми електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС у складі ССА	28.05-29.05.21	
4.	Розділ 3.Визначення та оцінка показників надійності підсистеми глісадних вогнів злітно-посадкової смуги	29.06-08.06.21	
5.	Розділ 4. Модернізація структури електропостачання вогнів візуальної індикації глісади	08.06–13.06.21	
6.	Підготовка доповіді та презентації для захисту дипломоної роботи		

7. Дата видачі завдання: “10” травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____Дев’яткіна Світлана Сергіївна
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання _____Гізатулліна Маргарита Едуардівна
(підпис випускника)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗПС.....	6
1.1. Опис, призначення, склад та конфігурація глісадних вогнів.....	6
1.2. Вимоги до підсистеми глісадних вогнів	8
РОЗДІЛ 2 СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ У СКЛАДІ ССА	9
2.1. Розрахунок потужності кабельних ліній підсистеми глісадних вогнів	9
2.2. Проектування оптимального проектного рішення підсистеми глісадних вогнів злітно-посадкової смуги у складі ССА	17
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ	19
3.1. Опис надійність та критерії відмови підсистеми глісадних вогнів	19
3.2. Розрахунок показників надійності підсистеми глісадних вогнів	26
РОЗДІЛ 4 МОДЕРНІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВОГНІВ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНДИКАЦІЇ ГЛІСАДИ	30
4.1. Підвищення надійності, зниження витрат на придбання та технічне обслуговування обладнання	30
4.2. Оцінка впливу показників надійності підсистеми глісадних вогнів на рівень безпеки польотів на етапі візуального пилотування	31
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

ЗПС- злітно-посадкова смуга

ІКАО - Міжнародна організація цивільної авіації

ПС - повітряне судно

РЯ – регулятор яскравості

ССА - світлосигнальна система аеродрому

РАРІ - Precision Approach Path Indicator

ВСТУП

Актуальність даної теми полягає в тому, що світлосигнальна система аеродрому (ССА) - призначена для пілотів повітряних суден під час здійснення посадки та зльоту і вона є єдиним джерелом зорової інформації у складних метеоумовах.

Система забезпечує світлове позначення злітно-посадкової смуги (ЗПС). Пілоти повинні взаємодіяти з вогнями ССА під час посадки та зльоту і ухвалюють рішення про переривання маневру у разі втрати зорового контакту. В складі ССА глісадні вогні призначені для візуальної вказівки глісади планерування та оптимального місця приземлення ПК вдень та вночі.

В нормативно-технічній документації міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) електропостачання підсистеми глісадних вогнів здійснюється по двох кабельних лініях. Наскільки доцільна така вимога стосовно глісадних вогнів з'ясуємо після визначення та обґрунтування критерію відмови підсистеми глісадних вогнів, розрахунку її надійності та оцінки впливу показників надійності на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування. Всі розрахунки, які будуть проведені в дипломній роботі виконані для обґрунтування можливості використання одної кабельної лінії без зниження рівня безпеки польотів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес заходу на посадку на етапі візуального пілотування

Предметом дослідження є підсистема глісадних вогнів злітно-посадкової смуги (ЗПС)

Метою дослідження є модернізація системи електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС формату РАРІ

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

1.1 Опис, призначення, склад та конфігурація глісадних вогнів

Підсистема глісадних вогнів злітно-посадкової смуги призначена для візуальної індикації глісади планерування пілота повітряного судна (ПС) на етапі візуального пілотування при заході на посадку у простих і складних метеорологічних умовах. Нормативно-технічні документи Міжнародної організації цивільної авіації [Відповідно до вимог 2], особливо підкреслюють значимість підсистеми глісадних вогнів, п. 1.4.38. “Самыми важными визуальными средствами наведения являются системы визуальной индикации глиссады. В районах многих аэропортов, не имеющих системы визуальной индикации глиссады, особенно там, где заходы на посадку выполняются над водой или безориентирной местностью, пилоты сталкиваются с серьезными затруднениями”.



Рис.1.1 Підсистема глісадних вогнів ЗПС

Глісадні вогні зображені на Рис.1.1 призначені для вказівки візуальної глісади планерування. Тип, кількість і схема розташування глісадних вогнів визначаються завданням на проектування аеродрому. Існує кілька стандартних схем розміщення

глісадних вогнів. Так, наприклад, одна з стандартних схем візуального вказівки глісади PAPI - Precision Approach Path Indicator.

Система PAPI складається з флангового горизонту з чотирьох багатолампових (або здвоєних однолампових) вогнів з різким колірним переходом, розташованих через рівні проміжки. Вона розміщується з лівого боку ЗПС, за винятком випадків, коли це фізично неможливо.

Фланговий горизонт PAPI встановлюється таким чином, щоб під час заходу на посадку пілот, перебуваючи:

- вище глісади, бачив один вогонь, розташований ближче до ЗПС, червоним, а три вогню, розташованих далі від ЗПС, білими; а перебуваючи значно вище глісади, бачив всі вогні білими;
- на глісаді або близько до неї, баче два вогня, розташованих ближче до ЗПС, червоними, а два вогня, розташованих далі від ЗПС, білими;
- нижче глісади, бачив три вогні, розташованих ближче до ЗПС, червоними, вогонь, розташований далі від ЗПС, білим; а перебуваючи значно нижче глісади, бачив всі вогні червоними.

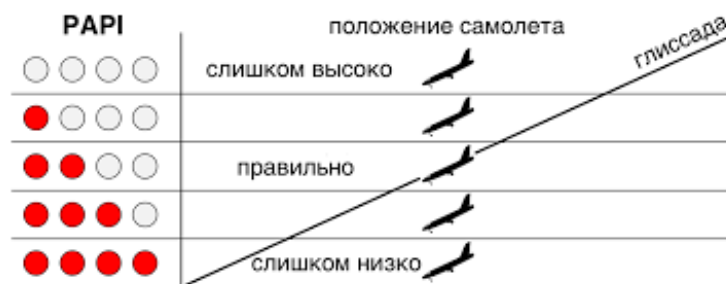


Рис. 1.2 Візуальна інформація від підсистеми глісадних вогнів в залежності від кута нахилу глісади

Кут нахилу глісади зображено на рис.1.2 PAPI і встановлюється в межах $3.00^\circ \div 4.00^\circ$. Конкретний кут нахилу глісади і сторона розташування флангового горизонту щодо осі ЗПС вказуються на карті аеродрому в розділі ADDITIONAL RUNWAY INFORMATION.

Кутова ширина сектора щодо осі глісади, коли видно тільки білі / червоні вогні РАРІ, становить $\pm 30'$

Дальність видимості вогнів РАРІ в ясну погоду вдень до 10км (більш чітке визначення білого / червоного вогню можна спостерігати від 7км). Вона залежить від регулювання сили світла вогнів, а в нічний час досягає до 18км.

1.2 Вимоги щодо проектування підсистеми глісадних вогнів

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 на- дійності 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.

На даний час згідно стандартів та практики, що рекомендується ІКАО, підсистема глісадних вогнів ЗПС є обов'язковою з 01 січня 2008 року для використання у міжнародних аеропортах України, а з 01 січня 2010 року у всіх цивільних аеропортах України.

Правильне функціонування глісадних вогнів в процесі експлуатації визначається правильністю вибору їх типу і проектування.

Відповідно до „Дос 9157 AN/901 Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства”, п. 17.3.5: “Неотъемлемой частью любого проекта должно стать надежное подтверждение степени работоспособности системы” при проектуванні підсистеми глісадних вогнів необхідно визначити показники надійності підсистеми та провести оцінку їх впливу на рівень безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування.

РОЗДІЛ 2

СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ У СКЛАДІ ССА

2.1. Розрахунок потужності кабельних ліній підсистеми глісадних вогнів

Методика визначення електричної потужності кабельних ліній полягає в тому щоб забезпечити електропостачання підсистем глісадних вогнів ЗПС з обох напрямків посадки.

Електрична потужність кабельних ліній визначається з метою правильного вибору потужності регуляторів яскравості, що використовуються у системі електропостачання глісадних вогнів та їх оптимального з техніко-економічних позицій узгодження з потужністю кабельних ліній.

Визначення електричної потужності кабельних ліній аеродромних вогнів проводиться виходячи з вихідних даних, що представлені у таблиці 2.1

Значення коефіцієнтів корисної дії і еквівалентного коефіцієнту потужності ізолювальних трансформаторів обираються за даними технічних умов і керівництва з експлуатації на відповідні ізолювальні трансформатори.

Для електропостачання підсистем глісадних вогнів з обох напрямків посадки може бути обрана схема з двома кабельними лініями або з однією кабельною лінією з кожного напрямку посадки.

Номінальне діюче значення струму кабельної лінії приймається рівним 6,6 А. Сполучний високовольтний кабель типу ЛКСМ, $1,0 \times 6,0 \text{ мм}^2$, 5 кВ, перетином $6,0 \text{ мм}^2$ погонним активним опором 3,08 Ом/км при температурі 20° С .

Номінальне діюче значення напруги живлення кабельної лінії $U_{\text{кл}}$, (В) визначається за загальною формулою:

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n N_i U_i + \Delta U_r\right)^2 + \Delta U_L^2},$$

де n_i – кількість груп ізолювальних трансформаторів відповідної номінальної потужності, шт.;

N_i – кількість ізолювальних трансформаторів даної групи, шт.;

U_i – діюче значення напруги на первинній обмотці ізолюючого трансформатора.

$\Delta U_r, \Delta U_L$ – утрати напруги на активному й індуктивному опорах сполучного кабелю відповідно, В;

Для загального випадку із застосуванням ізолювальних трансформаторів різних номінальних потужностей вищенаведена формула має наступний вид:

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(n_{65}U_{65} + n_{100}U_{100} + n_{200}U_{200} + n_{300}U_{300} + \Delta U_r)^2 + \Delta U_L^2}$$

де $n_{65}, n_{100}, n_{200}, n_{300}$ – кількість ізолювальних трансформаторів, потужністю 65, 100, 200, 300 ВА відповідно, шт.;

$U_{65}, U_{100}, U_{200}, U_{300}$ – діючі значення напруги на первинних обмотках ізолювальних трансформаторів відповідної потужності, В;

У підсистемі глісадних вогнів використовуються ізолювальні трансформатори однієї номінальної потужності – 200,0 ВА.

Напруга U_i , (В) на первинній обмотці ізолювального трансформатора відповідної потужності визначається за формулою:

$$U_i = \frac{S_{\text{ИТ}}}{I_{\text{кл}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta},$$

де $S_{\text{ИТ}}$ – номінальна потужність ізолювального трансформатора, ВА;

$I_{\text{кл}}$ – номінальне діюче значення струму кабельної лінії, А;

η – коефіцієнт корисної дії ізолювального трансформатора в номінальному режимі для відповідного значення опору навантаження;

$\cos\varphi$ – еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювального трансформатора в номінальному режимі.

Втрати напруги ΔU_r на активному опорі кабелю визначаються за формулою:

$$\Delta U_r = I_{\text{кл}} \cdot r_0 \cdot l,$$

де r_0 – погонний активний опір високовольтного одножильного кабелю, що складає 2,91 Ом/км;

l – довжина кабелю, км.

Втрати напруги ΔU_L на індуктивному опорі високовольтного одножильного кабелю визначаються за формулою:

$$\Delta U_L = I_{\text{кЛ}} \cdot X_L \cdot l,$$

де X_L – погонний індуктивний опір кабелю, або з визначенням індуктивності кабелю і наступним визначенням ΔU_L за формулою:

$$\Delta U_L = I_{\text{кЛ}} \cdot 2\pi f L_{\text{кЛ}},$$

де $L_{\text{кЛ}}$ – індуктивність кабельної лінії;

f – частота мережі.

Індуктивність кабельної лінії $L_{\text{кЛ}}$ розраховується за загальновідомою формулою визначення зовнішньої індуктивності прямолінійного відрізка провіднику:

$$L_{\text{кЛ}} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right);$$

де μ_0 – магнітна константа, чисельне значення якої є:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Вб/м} \times \text{м/А}, \text{ або Гн/м.}$$

де l – довжина відрізка, м;

r_0 – радіус струмоведучої жили, м.

Підставляючи значення μ_0 у формулу для визначення індуктивності кабельної лінії остаточно отримаємо розрахункову формулу для визначення власної індуктивності кабельної лінії:

$$L_{\text{кЛ}} = 2l \left(\ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right) \cdot 10^{-7}, \text{ Гн}$$

Необхідне значення повної потужності $S_{\text{ря}}$, (ВА), регулятора яскравості для електропостачання кабельної лінії розраховується за формулою:

$$S_{РЯ} = U_{КЛ} \cdot I_{КЛ}$$

З огляду на те, що регулятор яскравості повинен мати запас по потужності, розрахункове значення потужності має бути збільшено на 10%.

Вихідні дані та результати розрахунку потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів, що мають бути встановлені представлені у таблицях 2.1 і 2.2.

Вихідні дані для визначення потужності кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів та вибору регуляторів яскравості

Вихідні дані для визначення потужності кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів та вибору регуляторів яскравості представлені у таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів ШЗПС.

№	Найменування підсистеми вогнів	Довжина КЛ, метр	Кількість вогнів, шт.	Номинальна потужність ламп у вогнях, Вт.	Номинальний струм РЯ, А	Тип і номинальна потужність РЯ, кВА	Використання на потужність, кВА
1	Підсистема глісадних вогнів ШЗПС з МК _{пос.} -101°	3630	8	200,0	6,6	ZKPT-7 (або РЯ іншого виробника)	
	Фідер № 1, ТП-2					3,0	3,0

2	Підсистема глісадних вогнів ШЗПС з МК _{пос.} -281° Фідер № 2, ТП-2	1500	8	200,0	6,6	ZKPT-7 (або РЯ іншого виробника)	
---	---	------	---	-------	-----	-------------------------------------	--

Для електропостачання підсистеми глісадних вогнів з обох напрямків посадки використовується сполучний високовольний одножильний кабель типу СНАУ, $1,0 \times 6,0 \text{ мм}^2$, 5,0 кВ, перетином $6,0 \text{ мм}^2$, погонним активним опором $3,08 \text{ Ом/км}$ при температурі 20°C та ізолювальні трансформатори типу КР 551.ЕТ номінальною електричною потужністю 200,0 ВА, номінальним первинним струмом 6,6 А та номінальним вторинним струмом 6,6 А. Коефіцієнт корисної дії та еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювального трансформатора для номінального режиму складає відповідно: 0,9 та 0,97.

Вихідні дані для визначення потужності кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів та вибору регуляторів яскравості представлені у таблиці 2.1

Результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів ШЗПС

Результати розрахунків потужності кабельних ліній для електропостачання підсистеми глісадних вогнів ШЗПС представлені у таблиці 2.2

Для електропостачання кабельних ліній у підсистемах глісадних вогнів застосовуються регулятори яскравості типу ZKP-T7.3 або регулятори яскравості іншого виробника номінальної потужності 3,0 кВА, номінальним вихідним струмом 6,6 А, номінальним діючим значенням струму, що споживається від промислової мережі 10,4 А та номінальним значенням напруги мережі 380,0 В

Таблиця 2.2

Результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистеми глісадних вогнів ЗПС із високовольтним кабелем типу СНАУ, 1,0·6,0мм², 5,0 кВ, перетином 6,0 мм².

№	Вихідні дані та результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистеми бічних вогнів ЗПС	Глісадні вогні ШЗПС, МК _{нос.} -101° фідер №1, ТП-2	Глісадні вогні ШЗПС, МК _{нос.} -281° фідер №2, ТП-2
	Довжина кабельної лінії, м	3600	1500
2.	Кількість вогнів потужністю 200 Вт, шт.	8	8
3.	Номінальна потужність вогнів, Вт	200	200
4.	Радіус струмоведучої жили кабелю, м	0,001382	0,001382
5.	Номінальний струм кабельної лінії, А	6,6	6,6
6.	ККД ізолюючого трансформатора 200 ВА	0,9	0,9
7.	Коефіцієнт потужності ізолювального трансформатора	0,97	0,97
8.	Погонний активний опір кабелю, Ом/м	0,00308	0,00308
9.	Індуктивність кабелю, Гн	0,0105	0,0040
10.	Індуктивний опір кабелю, Ом	3,29	1,28
11.	Напруга на ізолювальному трансформаторі 200 ВА, В	34,71	34,71
12.	Втрати напруги на активному опорі кабелю, Ракт., В	73,79	30,49
13.	Втрати напруги на індуктивному опорі кабелю, Хінд., В	21,77	8,45
14.	Вихідна напруга регулятора яскравості, В	352,15	308,30
15.	Потужність РЯ, з 10% запасом, ВА	2556,65	2238,25

Результати розрахунків потужності кабельних ліній свідчать за те, що в регуляторах яскравості слід використовувати відгалуження в силових трансформаторах на повну потужність 3,0 кВА.

Регулятори яскравості типу ZKP-T7.3 в кількості 1 шт. для кожного напрямку посадки встановлюються у ТП-2 та підключаються до щитів гарантованого електропостачання через автоматичний вимикач 20,0 А.

Керування підсистемами глісадних вогнів з обох напрямків посадки здійснюється індивідуально апаратурою дистанційного керування ССА.

Відповідно нормативно-технічному документу “Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП-ГА 85)” підсистема глісадних вогнів ЗПС, як складова частина світлосигнальної системи аеродрому повинна бути включена:

1. При виконанні нічних польотів – за 15 хвилин до заходу сонця або розрахункового часу прибуття повітряного судна.
2. При виконанні денних польотів – за 15 хвилин до розрахункового часу прибуття повітряного судна.

Підсистема глісадних вогнів ЗПС повинна бути відключена в нічний та денний часи при відсутності польотів або при перерві у польотах повітряних суден більше 15 хвилин.

Система візуальної індикації глісади передбачається для забезпечення заходу на посадку, незалежно від того, чи обладнана дана ЗПС іншими візуальними або невізуальними засобами заходу на посадку, при наявності одного або декількох з перерахованих нижче умов:

- 1) ЗПС використовується турбореактивними або іншими літаками, яким потрібна така ж наведення при заході на посадку;
- 2) у пілотів літаків будь-якого типу можуть виникнути труднощі при оцінці правильності своїх дій під час заходу на посадку в результаті:
- 3) недостатню кількість візуальних орієнтирів при заході на посадку над водним простором або над одноманітною місцевістю в денний час яких зовнішніх вогнів в зоні заходу на посадку в нічний час

4) неправильного уявлення, що створюється оманливим характером навколишньої місцевості або ухилами ВПП;

5) наявність об'єктів в зоні заходу на посадку може привести до серйозних наслідків, якщо літак летить нижче нормальної траєкторії заходу на посадку, особливо якщо відсутні невізуальні або інші візуальні засоби, що попереджають про подібні об'єкти;

6) фізичний стан поверхні у будь-якого з торців ВПП становить серйозну небезпеку в разі, якщо літак здійснить посадку з недольотом або викотиться за межі ЗПС;

7) місцевість або переважаючі метеорологічні умови такі, що літак може потрапити в зону підвищеної турбулентності під час заходу на посадку.

У стандартну систему візуальної індикації глісади входять:

а) T-VASIS і AT-VASIS, які відповідають технічним вимогам;

б) системи PAPI і APAPI, які відповідають технічним вимогам «Рис.2.1»

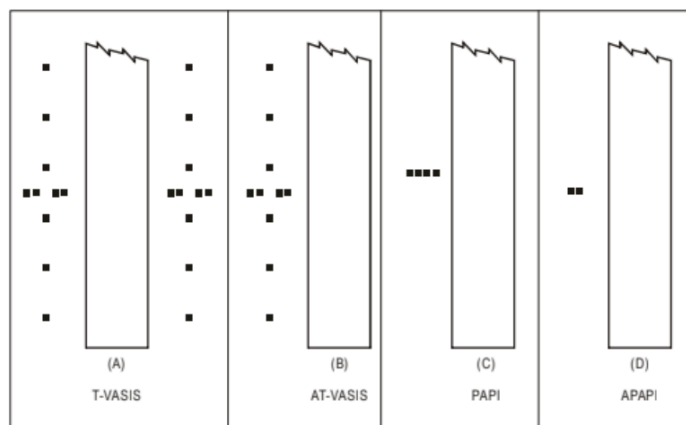


Рис.2.1. Системи візуальної індикації глісади

2.2. Проектування оптимального проектного рішення підсистеми глісадних вогнів злітно-посадкової смуги у складі ССА

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. 2.2, а

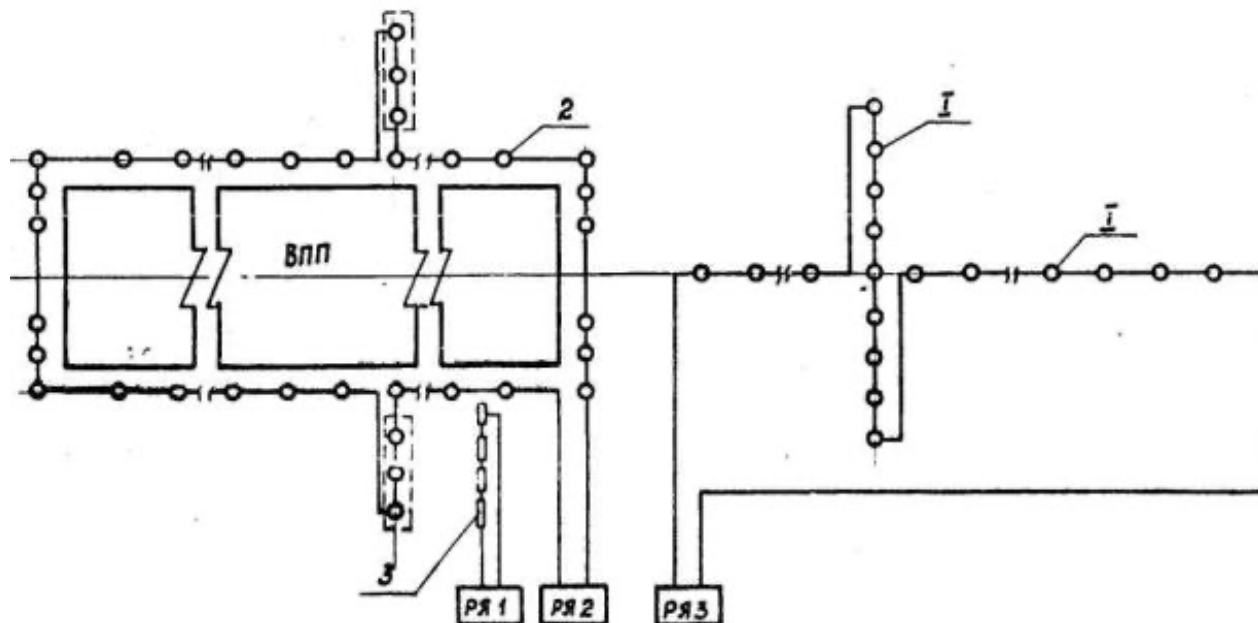


Рис 2.2. Схема електропостачання 3 глісадних вогнів

Система візуальної індикації глісади передбачається для забезпечення заходу на посадку, незалежно від того, чи обладнана дана ЗПС іншими візуальними або невізуальними засобами заходу на посадку, при наявності одного або декількох з перерахованих нижче умов:

1) ЗПС використовується турбореактивними або іншими літаками, яким потрібна така ж наведення при заході на посадку;

2) у пілотів літаків будь-якого типу можуть виникнути труднощі при оцінці правильності своїх дій під час заходу на посадку в результаті:

3) недостатню кількість візуальних орієнтирів при заході на посадку над водним простором або над одноманітною місцевістю в денний час яких зовнішніх вогнів в зоні заходу на посадку в нічний час

4) неправильного уявлення, що створюється оманливим характером навколишньої місцевості або ухилами ВПП;

5) наявність об'єктів в зоні заходу на посадку може привести до серйозних наслідків, якщо літак летить нижче нормальної траєкторії заходу на посадку, особливо якщо відсутні невізуальні або інші візуальні засоби, що попереджають про подібні об'єкти;

6) фізичний стан поверхні у будь-якого з торців ВПП становить серйозну небезпеку в разі, якщо літак здійснить посадку з недольотом або викотиться за межі ЗПС;

7) місцевість або переважаючі метеорологічні умови такі, що літак може потрапити в зону підвищеної турбулентності під час заходу на посадку.

У стандартну систему візуальної індикації глісади входять:

а) T-VASIS і AT-VASIS, які відповідають технічним вимогам;

б) системи PAPI і APAPI, які відповідають технічним вимогам

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПІДСИСТЕМИ ГЛІСАДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

3.1. Опис надійності та критерії відмов підсистеми глісадних вогнів

Підсистема глісадних вогнів злітно-посадкової смуги призначена для візуальної індикації глісади планування пілота повітряного судна (ПС) на етапі візуального пілотування при заході на посадку у простих і складних метеорологічних умовах.

Нормативно-технічні документи міжнародної організації цивільної авіації [2] п. 1.4.38. “Самыми важными визуальными средствами наведения являются системы визуальной индикации глиссады. В районах многих аэропортов, не имеющих системы визуальной индикации глиссады, особенно там, где заходы на посадку выполняются над водой или безориентирной местностью, пилоты сталкиваются с серьезными затруднениями”.

На даний час згідно стандартів та практики, що рекомендується ІКАО, підсистема глісадних вогнів ЗПС є обов'язковою з 01 січня 2008 року для використання у міжнародних аеропортах України, а з 01 січня 2010 року у всіх цивільних аеропортах України.

Правильне функціонування глісадних вогнів в процесі експлуатації визначається правильністю вибору їх типу і проектування.

Відповідно до [2] п. 17.3.5: “Неотъемлемой частью любого проекта должно стать надежное подтверждение степени работоспособности системы” при проектуванні підсистеми глісадних вогнів необхідно визначити показники надійності підсистеми та провести оцінку їх впливу на рівень безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування.

При створенні проекту підсистеми глісадних вогнів виникає дві основні проблеми:

1. Перша проблема полягає в розробці системи електропостачання глісадних вогнів, а саме в кількості кабельних ліній для електропостачання підсистеми: чи є

доцільним електропостачання підсистеми по двох кабельних лініях чи достатньо однієї? Проблема полягає в тому, що стандарти ІКАО вимагають здійснювати електропостачання усіх підсистем вогнів, в тому числі і глісадних, по двох або більше кабельних лініях, дозволяє здійснювати електропостачання глісадних вогнів з використанням однієї кабельної лінії.

2. Друга проблема полягає в тому, що відповідно до стандартів ІКАО, як вже було сказано вище, кожен проект має супроводжуватися розрахунком надійності для підтвердження того, що спроектована підсистема не знижує рівня надійності ССА та відповідним чином рівня безпеки польотів.

Очевидно, що рішення обох проблем неможливо без визначення показників надійності підсистеми глісадних вогнів та оцінки їх впливу на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

В свою чергу, визначення надійності підсистеми глісадних вогнів, як і будь-якої технічної системи, неможливе без формулювання та наукового обґрунтування критеріїв відмови п. 17.3.7. „Doc 9157 AN/901 Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства”. Отже виникає проблема формулювання критеріїв відмови підсистеми глісадних вогнів, а також, визначення та оцінки її показників надійності.

Під критеріями відмови підсистеми глісадних вогнів розуміється ознака або сукупність ознак, що характеризують непрацездатний стан підсистеми.

У стандартах ІКАО відсутні критерії відмови підсистеми глісадних вогнів ЗПС. Аналіз літератури в галузі візуальних засобів забезпечення глісади продемонстрував, також, відсутність критеріїв відмови не тільки підсистеми глісадних вогнів, а навіть критеріїв відмови окремого вогню.

Наукове обґрунтування критерію відмови підсистеми глісадних вогнів надається при розробці Керівництва з застосування світлосигнальних систем аеродромів при відмовах окремих її елементів. Критерії відмови формулюються з урахуванням специфічних особливостей підсистеми глісадних вогнів.

Першою специфічною особливістю підсистеми глісадних вогнів типу РАРІ є те, що вона містить усього чотири вогню, відмова будь-якого вогню веде не тільки к

зникненню візуального наведення по глісаді планерування, а, навпаки, к дезінформації екіпажа ПС про номінальну глісаду планерування.

Другою специфічною особливістю підсистеми глісадних вогнів є те, що вона ніяким чином в інформаційному плані не резервується іншими підсистемами аеродромних вогнів світлосигнальної системи. З вказаного випливає, що відмова підсистеми глісадних вогнів безпосередньо та негативно позначається на рівнях безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

Таким чином, виходячи з принципу дії підсистеми глісадних вогнів типу РАРІ, формулювання її критерію відмови не викликає труднощів – відмова підсистеми настає у випадку відмови будь-якого одного з чотирьох вогнів флангового горизонту. Адже в цьому випадку втрачається інформативність підсистеми та пілот може невірно інтерпретувати інформацію про глісаду планерування, що приведе до його хибних дій.

У складі кожного вогню флангового горизонту встановлюється мінімум два джерела світла, що працюють в режимі навантаженого резерву, тобто дублювання. Цей факт логічно пояснити, виходячи з двох припущень:

1. Сила світла вогню з одним джерелом світла, є недостатньою для створення необхідного світлового сигналу, отже два джерела світла є необхідною умовою функціонування окремого вогню флангового горизонту.

2. Сила світла вогню з одним джерелом світла є достатньою для створення необхідного інформаційного світлового сигналу, а дублювання джерел світла у вогню та ізольованих 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 у підсистемі глісадних вогнів:

1. Відмова одного вогню флангового горизонту настає при відмові хоча б одного з двох джерел світла.

2. Відмова одного вогню флангового горизонту настає при відмові обох джерел світла у вогні.

Перше припущення малоімовірне, адже є можливість замість двох джерел світла потужністю 200 Вт встановити одне джерело світла потужністю 400 Вт, з тим самим часом напрацювання до відмови. В цьому випадку показник безвідмовності вогню буде майже 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 знижується майже вдвічі, тому даний вогонь буде спостерігатися пілотом ПС гірше порівняно з іншими трьома вогнями флангового горизонту. У складних метеорологічних умовах (експлуатаційний мінімум аеродрому I категорії) сила світла одного з вогнів флангового горизонту з джерелом світла, що відмовило, може бути недостатньою для забезпечення інформативності підсистеми глісадних вогнів ЗПС, тобто відмова одного будь-якого джерела світла в вогню призведе до відмови всієї підсистеми.

Виникає парадоксальна ситуація. З одного боку два джерела світла встановлюються у глісадному вогні для забезпечення його надійності. З іншого – відмова одного з джерел світла веде до зниження сили світла вогню у два рази, тобто до його відмови.

Виявляється, що дублювання джерел світла у вогню, як засіб підвищення показників надійності вогню призводить, навпаки, до їх зниження, оскільки імовірність відмови одного з джерел світла з двох, що використовуються у вогні вище ніж імовірність відмови одного єдиного джерела світла у вогню. Виникає питання навіщо застосовувати два джерела світла у вогні та тим більш дві кабельні лінії для електропостачання вогнів, що також знижує показники надійності підсистеми. Для вирішення цієї проблеми були проведені розрахунки дальності видимості глісадних вогнів в умовах експлуатаційного мінімуму I категорії.

Розрахунки продемонстрували, що відмова одного джерела світла у глісадному вогні та зниження його сили світла навіть у два рази знижує дальність його видимості усього на 8-10%, тобто в умовах експлуатаційного мінімуму I категорії та мінімуму без категорії ця відстань складає не більше 70 м. Сучасне ПС при посадковій швидкості 250 км/год. проходить цю відстань за одну секунду. Таким чином, беручи за увагу важливість функцій, які покладаються на підсистему глісадних вогнів, можна

стверджувати, що наявність двох і більше ламп у глісадному вогні застосовуються тільки з метою підвищення показників його надійності.

Дане припущення є більш ймовірним та правильним ще і через те, що у простих метеорологічних умовах така відмова майже не впливає на інформативність підсистеми в цілому, адже дальність видимості на ЗПС є такою, що світловий сигнал буде однозначно інтерпретуватися, навіть при зменшенні його інтенсивності ($RVR \geq 1000$ м). Для остаточного вибору одного з двох варіантів критерію відмови підсистеми глісадних вогнів необхідно визначити показники надійності при кожному варіанті критерію відмови.

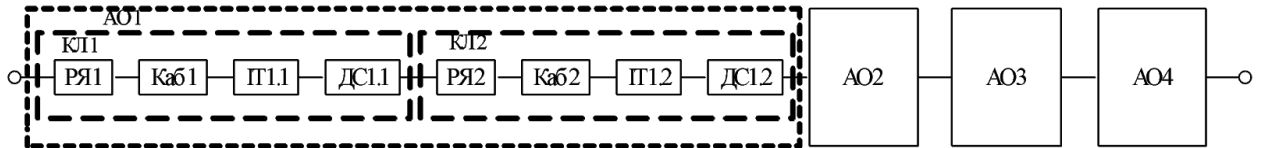
Електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС, як і всіх інших підсистем ССА здійснюється за послідовною схемою через ізолювальні трансформатори. Оберемо варіант електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС з двома кабельними лініями, як це рекомендується в нормативних документах ІКАО [2]. До складу одної кабельної лінії входять регулятор яскравості, кабель, та ізолювальні трансформатори.

Відмова будь-якого з елементів електропостачання приводить до відмови всієї підсистеми глісадних вогнів ЗПС.

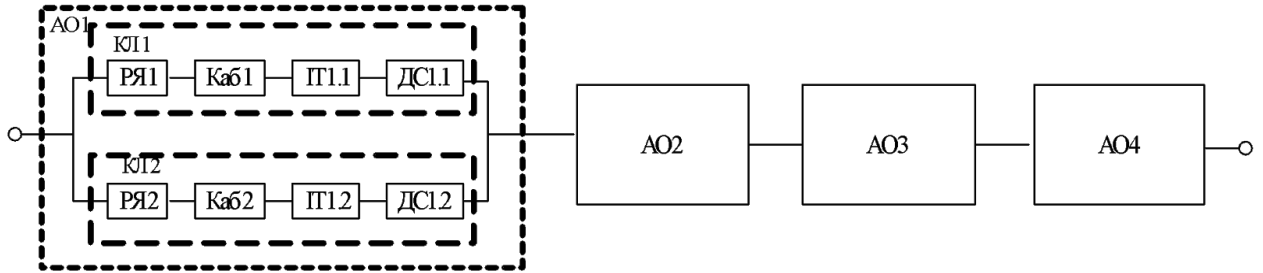
Надійнісно-функціональна схема підсистеми глісадних вогнів ЗПС з першим варіантом критерію відмови зображена на рис.3.1 *а*, а з другим варіантом – на рис.3.1 *б*.

Вихідні дані для визначення ймовірності безвідмовної роботи за 12 год.(час між двома технічними обслуговуваннями) – інтенсивності відмов елементів – зведено у табл.3.1.

Будемо вважати, що елементи підсистеми глісадних вогнів ЗПС підпорядковуються експоненціальному закону розподілу середнього наробітку до відмови. Для подальшого аналізу надійності підсистеми у стовпчику „відносне значення” вказані інтенсивності відмов елементів підсистеми, що виражені через інтенсивності відмов джерел світла (λ), як найбільш ненадійних елементів підсистеми.



а



б

Рис. 3.1. Надійнісно - функціональні схеми підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях при різних варіантах критеріїв відмови(а – перший критерій відмови, б –другий критерій відмови)

Таблиця 3.1

Інтенсивності відмов елементів підсистеми глісадних вогнів ЗПС

№	Найменування показника	Значення, 1/год	Відносне значення
1	Інтенсивність відмов регулятора яскравості, $L_{РЯ}$	10^{-4}	0,1 \lfloor
2	Інтенсивність відмов кабелю (відмова типу „обрив”), $L_{каб}$	10^{-5}	0,01 \lfloor
3	Інтенсивність відмов ізолювальних трансформаторів, L_{IT}	10^{-4}	0,1 \lfloor
4	Інтенсивність відмов джерел світла вогнів, $L_{ДС}$	10^{-3}	\lfloor

Визначимо ймовірності безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів за 12 год. для обох варіантів критеріїв відмови і порівняємо їх з нормованим значенням.

Розглянемо спочатку варіант на рис 1 а. Інтенсивність відмови одного вогню у складі флангового горизонту (рис. 1 а) визначається за формулою

$$\lambda_{AB1} = \left(\frac{\lambda_{PЯ1} + \lambda_{каб1}}{4} + \lambda_{IT1.1} + \lambda_{ДС1.1} \right) + \left(\frac{\lambda_{PЯ2} + \lambda_{каб2}}{4} + \lambda_{IT1.2} + \lambda_{ДС1.2} \right).$$

Ймовірність безвідмовної роботи глісадних вогнів за 12 год. визначається,

$$P_{РАPI}(t) = e^{-\Lambda t} = e^{-4\lambda_{AB1}t} = e^{-9.02\lambda t} = 0.897$$

Для варіанту на рис 1 б, ймовірність безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів за 12 год. визначається, як

$$P_{РАPI}(t) = (1 - Q_{КЛ1}(t)Q_{КЛ2}(t))^4 = (1 - (1 - e^{-\lambda_{КЛ1}t})(1 - e^{-\lambda_{КЛ2}t}))^4 = 0.99928$$

Мінімальне нормоване значення для підсистеми світлосигнальної системи аеродрому дорівнює $P_{ПССА}(t) = 0.98$, [5]. Отже можна зробити висновок про те, що при електропостачанні глісадних вогнів по двох кабельних лініях, при першому варіанті критеріїв відмови нормований рівень безпеки польотів не забезпечується, а при другому – забезпечується з великим запасом.

Можна зробити висновок, що перший варіант критеріїв відмови є хибним, адже в цьому випадку неможливо спроектувати підсистему глісадних вогнів у відповідності до вимог ІКАО таку, щоб не знижувала показника безпеки польотів. Отже правильним є другий варіант критерію відмови, який логічно підтверджується ще й тим, що підсистема глісадних вогнів, в основному, 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.

Остаточо науково обгрунтований критерій відмови підсистеми глісадних вогнів може бути сформульований наступним чином.

Відмова підсистеми глісадних вогнів настає при відмові будь-якого вогню у підсистемі.

В свою чергу відмова вогню настає при відмові двох (або трьох) джерел світла. Таким чином, кількісний критерій відмови для підсистеми глісадних вогнів полягає у відмові більш 4 джерел світла у різних вогнях підсистеми, а топологічний критерій – при відмові двох джерел світла у будь-якому вогні підсистеми.

Після визначення та обґрунтування критерію відмови підсистеми глісадних вогнів можна провести розрахунок її надійності та оцінити вплив показників надійності на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

3.2. Розрахунок показників надійності підсистеми глісадних вогнів

Метою розрахунків надійності є визначення впливу показників надійності підсистеми на рівень безпеки польотів та доцільності електропостачання підсистеми глісадних вогнів по двох кабельних лініях.

В якості основного показника надійності обираємо такий показник безвідмовності, як імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ підсистеми глісадних вогнів за час $t = 12 \text{ год.}$ між двома технічними обслуговуваннями підсистеми. Вибір даного показника надійності обумовлений тим, що саме він безпосередньо впливає на рівень безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування.

Математична модель надійності підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по одній кабельній лінії, яка відображає ймовірність безвідмовної роботи підсистеми за час $t - P_{\text{пгв1}}(t)$, має наступний вид:

$$P_{\text{пгв1}}(t) = P_{\text{пегв}}(t) \cdot P_{\text{пв}}(t), \quad (1)$$

де $P_{\text{пегв}}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи підсистеми електропостачання глісадних вогнів (ПЕГВ) за час t ;

$P_{\text{пв}}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи підсистеми глісадних вогнів (ПВ) за час t .

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми електропостачання глісадних вогнів за час t визначається за наступною формулою

$$P_{\text{пегв}}(t) = P_{\text{ря}}(t) \cdot P_{\text{каб}}(t) = e^{-(\lambda_{\text{ря}} + \lambda_{\text{каб}}) \cdot t},$$

де $\lambda_{\text{ря}}$, $\lambda_{\text{каб}}$ – інтенсивності відмов регулятора яскравості та високовольтного кабелю відповідно.

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми вогнів за час t визначається за наступною формулою, з урахуванням дублювання джерел світла у кожному

глісадному вогні та ідентичності технічних і надійнісних характеристик елементів глісадних вогнів

$$P_{ПВ}(t) = \prod_{i=1}^4 P_{ГВ}(t)_i = \left[1 - (1 - e^{-(\lambda_{ГТ1.1} + \lambda_{ДС1.1})t}) \cdot (1 - e^{-(\lambda_{ГТ1.2} + \lambda_{ДС1.2})t}) \right]^4, \quad (2)$$

де $\lambda_{ГТ}$, $\lambda_{ДС}$ – інтенсивності відмов ізолювальних трансформаторів та джерел світла відповідно.

Остаточно модель надійності підсистеми глісадних вогнів (1) матиме наступний вигляд:

$$P_{ПГВ1}(t) = e^{-(\lambda_{РЯ} + \lambda_{каб})t} \cdot \left[1 - (1 - e^{-(\lambda_{ГТ1.1} + \lambda_{ДС1.1})t}) \cdot (1 - e^{-(\lambda_{ГТ1.2} + \lambda_{ДС1.2})t}) \right]^4 \quad (3)$$

Надійнісно - функціональна схема підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях представлена на рис. 3.2

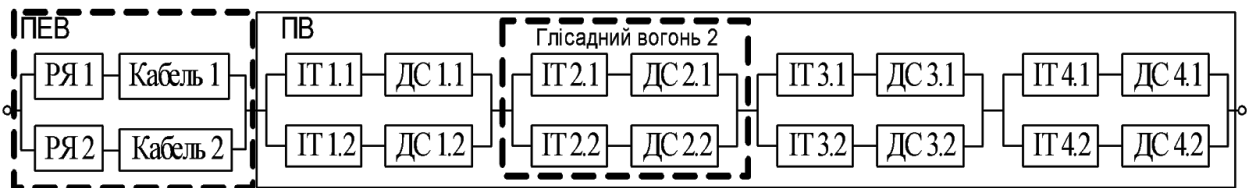


Рис. 3.2 Надійнісно - функціональна схема підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях.

Математична модель надійності підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях, яка відображає ймовірність безвідмовної роботи підсистеми за час $t - P_{ПГВ2}(t)$, має наступний вид:

$$P_{ПГВ2}(t) = P_{ПЕГВ}(t) \cdot P_{ПВ}(t), \quad (4)$$

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми електропостачання глісадних вогнів по двох кабельних лініях за час t визначається за наступною формулою

$$P_{ПЕГВ}(t) = 1 - \left[1 - P_{РЯ1}(t) \cdot P_{каб1}(t) \right] \cdot \left[1 - P_{РЯ2}(t) \cdot P_{каб2}(t) \right],$$

де $P_{РЯ1}(t)$, $P_{каб1}(t)$ – інтенсивності безвідмовної роботи за час t відповідно регулятора яскравості та високовольтного кабелю у першій кабельній лінії.

$P_{РЯ2}(t)$, $P_{каб2}(t)$ – інтенсивності безвідмовної роботи за час t відповідно регулятора яскравості та високовольтного кабелю у другій кабельній лінії.

$$P_{\text{ПЕГВ}}(t) = 1 - \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ1}} + \lambda_{\text{каб1}}) \cdot t} \right] \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ2}} + \lambda_{\text{каб2}}) \cdot t} \right]$$

де $\lambda_{\text{РЯ1}}$, $\lambda_{\text{каб1}}$ – інтенсивності відмов відповідно регулятора яскравості та високовольтного кабелю у першій кабельній лінії.

$\lambda_{\text{РЯ2}}$, $\lambda_{\text{каб2}}$ – інтенсивності відмов відповідно регулятора яскравості та високовольтного кабелю у другій кабельній лінії.

Імовірність безвідмовної роботи підсистеми вогнів за час t визначається за аналогічною (2) формулою.

Остаточно модель надійності підсистеми глісадних вогнів з електропостачанням по двох кабельних лініях матиме наступний вигляд:

$$P_{\text{ПГВ2}}(t) = \left\{ 1 - \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ1}} + \lambda_{\text{каб1}}) \cdot t} \right] \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ2}} + \lambda_{\text{каб2}}) \cdot t} \right] \right\} \times \left[1 - (1 - e^{-(\lambda_{\text{ГТ1.1}} + \lambda_{\text{ДС1.1}}) \cdot t}) \cdot (1 - e^{-(\lambda_{\text{ГТ1.2}} + \lambda_{\text{ДС1.2}}) \cdot t}) \right]^4 \quad (5)$$

Використовуючи розроблені моделі надійності підсистеми глісадних вогнів вирішимо спочатку задачу доцільності застосування двох кабельних ліній у підсистемі.

Аналіз математичних моделей надійності показує, що в обох випадках вони складаються з двох співмножників, що представляють собою показники надійності глісадних вогнів та показники надійності систем їх електропостачання.

Показники надійності глісадних вогнів є ідентичними незалежно від схеми їх електропостачання, тому визначимо вираш надійності за рахунок застосування двох кабельних ліній шляхом ділення ймовірності безвідмовної роботи за час t для підсистеми з двома кабельними лініями на ймовірність безвідмовної роботи за час t для підсистеми з однією кабельною лінією.

В результаті простих перетворень та підстановки даних остаточно отримаємо:

$$\frac{P_{\text{ПГВ2}}(t)}{P_{\text{ПГВ1}}(t)} = \frac{P_{\text{ПЕГВ2}}(t)}{P_{\text{ПЕГВ1}}(t)} = \frac{1 - \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ1}} + \lambda_{\text{каб1}}) \cdot t} \right] \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{\text{РЯ2}} + \lambda_{\text{каб2}}) \cdot t} \right]}{e^{-(\lambda_{\text{РЯ}} + \lambda_{\text{каб}}) \cdot t}} \quad (6)$$

Вихідні дані про показники надійності елементів підсистеми глісадних вогнів візьмемо з таблиці 3.1. Після їх підстановки до формули (6), з урахуванням того, що $t = 12$ год., отримаємо

$$\frac{P_{\text{ПГВ2}}(t)}{P_{\text{ПГВ1}}(t)} = \frac{1 - \left[(1 - e^{-0,011\lambda \cdot t})^2 \right]}{e^{-0,11\lambda \cdot t}} = 1,0011$$

Таким чином можна зробити наступний висновок:

Застосування двох кабельних ліній у схемі електропостачання глісадних вогнів збільшує надійність підсистеми всього на 0,11 %, що ніяким чином не впливає на рівень безпеки польотів.

Доведемо це ствердження подальшими розрахунками. Для цього визначимо абсолютні значення показників надійності підсистем глісадних вогнів для двох схем електропостачання та проведемо оцінку їх впливу на безпеку польотів.

Для визначення абсолютних значень показників безвідмовності підсистем глісадних вогнів з електропостачанням по двох і по одній кабельних лініях скористаємось моделями надійності (3) і (5). Після підстановки вихідних даних (табл. 1) отримуємо такі значення показників безвідмовності за час $t=12$ год.

$$P_{\text{ПГВ1}}(12) = 0,99928 \tag{7}$$

$$P_{\text{ПГВ2}}(12) = 0,99960 \tag{8}$$

РОЗДІЛ 4

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВОГНІВ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНДИКАЦІЇ ГЛІСАДИ

4.1. Підвищення надійності, зниження витрат на придбання та технічне обслуговування обладнання.

В даному розділі буде розглядатися дослідження модернізації структури електропостачання підсистеми аеродромних вогнів, спрямована на підвищення її надійності, зниження витрат на придбання та технічне обслуговування обладнання.

Рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування однозначно визначається показниками надійності світлосигнальної системи, яка є єдиним джерелом інформації для пілота ПС вночі та вдень в СМУ (за умови правильних дій екіпажа та працездатному стані обладнання ПС).

Історично склалося так, що вимоги [1,2] до структури електропостачання підсистем аеродромних вогнів, а саме, до кількості кабельних ліній у підсистемі сформувались більш ніж 30 років тому, коли показники надійності елементів кабельної ліній відрізнялись від сучасних на порядок і більше. Конкретних вимог щодо інформаційного резервування кабельних ліній у підсистемі аеродромних вогнів та можливості сумісного електропостачання вогнів різних функціональних підсистем не існувало зовсім.

На сьогоднішній день, провідні фірми виробники світлосигнального обладнання аеродромів поставляють на ринок України обладнання, показники надійності яких мають наступні значення:

1. Регулятори яскравості (РЯ) – середній наробіток на відмову – 70000 год.
2. Ізолювальні трансформатори – середній наробіток до відмови більше 150 000 год.

3. «Погона надійність високовольтного кабелю» (поняття введено авторами та передбачає показник надійності на одиницю довжини кабелю, як правило, 10 км) – середній наробіток до відмови типу «обрив» більше 250 000 год.

Надійність світлосигнального обладнання за 30 років зростає, а вимоги до структури електропостачання підсистем аеродромних вогнів, на жаль, залишились без змін.

У більшості аеропортів України проводяться модернізації світлосигнальних систем, тому актуальною є проблема проектування глісадних вогнів ЗПС типу РАРІ, 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. На основі аналізу принципу дії глісадних вогнів ЗПС типу РАРІ було сформульовано та науково обґрунтовано її критерій відмови. На підставі сформульованого критерію відмови провели порівняльний аналіз схем електропостачання підсистеми глісадних вогнів з одною та з двома кабельними лініями.

Отримали результати розрахунків, які довели, що застосування двох кабельних ліній у схемі електропостачання глісадних вогнів збільшує надійність підсистеми всього на 0,11 %, що ніяким чином не впливає на рівень безпеки польотів. Тому для зниження витрат на придбання та технічне обслуговування обладнання можна запропонувати використання однієї кабельної лінії для електропостачання підсистеми глісадних вогнів так як показники надійності глісадних вогнів є ідентичними незалежно від схеми їх електропостачання, тобто якщо використовувати лише одну кабельну лінію у схемі електропостачання можна модернізувати структури і цим самим знизити витрати.

4.2. Оцінка впливу показників надійності підсистеми глісадних вогнів на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування

Аналіз вимог [1,2] до структури електропостачання підсистем аеродромних вогнів з позицій надійності взагалі виглядає парадоксальним. Зі всіх елементів

кабельної лінії найбільш надійними є РЯ, ізолювальні трансформатори та відрізки високовольтного кабелю, тим не менш резервуються саме РЯ та високовольтний кабель.

На прикладі підсистеми вогнів ЗПС продемонструємо алогічність вимог нормативних документів [1,2], до системи електропостачання вогнів, а саме, факт того, що їх виконання замість підвищення надійності підсистеми, навпаки, знижує її показники. До складу підсистеми вогнів ЗПС входять аеродромні вогні трьох функціональних призначень: бічні вогні ЗПС, вхідні вогні ЗПС та обмежувальні вогні ЗПС.

Електропостачання підсистеми вогнів ЗПС здійснюється сумісно по двом кабельним лініям від двох регуляторів яскравості іноді, навіть, від різних трансформаторних підстанцій.

Для визначення і оцінки показників надійності необхідно сформулювати критерій відмови підсистеми вогнів ЗПС. В якості критерію відмови можуть бути використані вимоги пунктів 10.5.7, 10.5.8, документу [3], в якому зазначається, що підсистема вогнів ЗПС для ССА типу ВВІ-І вважається такою, що відмовила, при відмові 15% вогнів будь якого функціонального призначення, що входять до її складу. Для ССА ці вимоги складають 5%, тобто, є ще більш жорсткими. Таким чином, при відмові будь-якої з двох кабельних ліній або регулятора яскравості підсистеми вогнів ЗПС, підсистема переходить до стану відмови, тому що відмовляють 50% вогнів кожного функціонального призначення.

Проведемо кількісний аналіз такого показника надійності підсистеми вогнів ЗПС, як імовірність відмови $Q_1(t)$ для підсистеми, електропостачання якої здійснюється по одній кабельній лінії від одного регулятора яскравості та $Q_2(t)$ для підсистеми, електропостачання якої здійснюється по двом кабельним лініям від двох регуляторів яскравості. Імовірність відмови кабельної лінії через відмови високовольтного кабелю або регулятора яскравості будемо вважати однаковою для обох варіантів електропостачання і рівною $Q(t)$. Тоді імовірність відмови $Q_1(t) = Q(t)$, а $Q_2(t) = 2 Q(t) - Q^2(t)$.

Ефективність резервування E_p кабельних ліній і регуляторів яскравості в підсистемі вогнів ЗПС визначимо, як співвідношення

$$E_p = \frac{Q_1(t)}{Q_2(t)} = \frac{Q(t)}{2Q(t) - Q^2(t)} = \frac{1}{2 - Q(t)}$$

1. Ефективність резервування завжди менше одиниці, тобто, імовірність відмови нерезервованої підсистеми (електропостачання по одній кабельній лінії) майже в два рази менше ніж імовірність відмови резервованої підсистеми (електропостачання по двом кабельним лініям) за один і той же час t .

2. Вимога про електропостачання підсистеми вогнів ЗПС застаріла, сприяє зниженню показників надійності підсистеми, збільшенню капітальних витрат на придбання обладнання, його наступне технічне обслуговування і ремонт, та має бути відмінена.

3. Вимогу про електропостачання підсистеми вогнів по двом кабельним лініям доцільно залишити за умови, якщо в разі відмови будь-якої з двох кабельних ліній в підсистемі зберігається інформаційне резервування навіть при наявності обмежень по дальності видимості на ЗПС (RVR)

ВИСНОВКИ

1. В дипломній роботі було проаналізовано підсистему глісадних вогнів, описано принцип дії РАРІ та проаналізовано вимоги стандартів ІКАО. Було сформульовано остаточно науково обґрунтований критерій відмови підсистеми глісадних наступним чином.

Відмова підсистеми глісадних вогнів настає при відмові будь-якого вогню у підсистемі

На підставі сформульованого критерію відмови провели порівняльний аналіз схем електропостачання підсистеми глісадних вогнів з одною та з двома кабельними лініями.

2. Отримали результати розрахунків, які довели, що застосування двох кабельних ліній у схемі електропостачання глісадних вогнів збільшує надійність підсистеми всього на 0,11 %, що ніяким чином не впливає на рівень безпеки польотів.

3. Для зниження витрат на придбання та технічне обслуговування обладнання можна запропонувати використання одної кабельної лінії для електропостачання підсистеми глісадних вогнів так як показники надійності глісадних вогнів є ідентичними незалежно від схеми їх електропостачання, тобто якщо використовувати лише одну кабельну лінію у схемі електропостачання можна модернізувати структури і цим самим знизити витрати. Всі розрахунки, які були проведені в дипломній роботі, обґрунтовують можливість використання одної кабельної лінії без збитків для безпеки польотів.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приложение 14 К Конвенции о международной гражданской авиации. Т.1. Аэродромы. Проектирование и эксплуатация аэродромов.- изд 8, 2018 г.
2. Doc 9157 Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства; 5-ое издание – 2021г.
3. Державні будівельні норми України. Склад та зміст проектної документації на будівництво (ДБН А.2.2-3:2012)
4. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. Doc 9157, AN/901. – Монреаль. – 2009 г. – 218 с. (ICAO. Международные стандарты и рекомендуемая практика). http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/9157_p4_ru.pdf.
5. Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения (PANS-ATM) (Doc 4444).
6. Руководство по проектированию аэропортов (Doc 9184). Часть 1. Генеральное планирование.
7. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов, В. В. Астанін ; за ред. Бабака В. П. - Київ : Техніка, 2004. – 584 с.
8. Російсько-український словник-довідник термінів і словосполучень з авіоніки : словник-довідник / Скрипець А. В., Варченко, О. І., Верхулевська, Л. Ф., Скуративська Л. Г., Степко, О. М., уклад.; Національний авіаційний університет. - Київ, 2002. - 360 с.
9. Вісник Національного авіаційного університету : збірник наукових праць. Вип. 2 (20) / МОН України, Національний авіаційний університет ; Дротянко Л. Г., ред. - Київ : НАУ, 2014. - 136 с
10. Надійність та діагностика електрообладнання : навчальний посібник / В. М. Казак, Б. І. Доценко, В. П. Кузьмін, Ю. І. Шепелєв ; МОН України, МОН МС України, Національний авіаційний університет. - Київ : НАУ, 2013. 280 с.
11. Марченко В. П. Аэродромы: конспект лекцій / В. П. Харченко, Ю. І. Миронченко ; МОН МС України, Національний авіаційний університет. - Київ : НАУ, 2011. - 96 с.

12. "Авіа-2013", науково-технічна конференція (11; 2013; Київ). Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції "Авіа-2013", 21-23 травня 2013 р. Т. 6 / МОН України, НАН України, Національне космічне агентство України, Національний авіаційний університет ДП "АНТОНОВ" ; Кулик М. С., голова. - Київ : НАУ, 2013. - 568 с