

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Система електропостачання наземних візуальних засобів забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації»: 41 с., 9 рис., 3 табл., 1 графік, 12 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: технологічний процес безперебійного забезпечення електричною енергією наземних візуальних засобів забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації.

Предмет дослідження: система електропостачання візуальних засобів забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації.

Мета дипломної роботи: підвищення ефективності системи електропостачання наземних візуальних засобів шляхом забезпечення нормованого значення часу перемикання аеродромних вогнів.

Методи дослідження: під час виконання дипломної роботи проведено аналіз системи електропостачання візуальних засобів забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації, виконані розрахунки надійності світлосигнальної системи аеродрому 1 категорії, що дають можливість обрати відповідні елементи для її створення. Запропоновано методикау визначення показників надійності системи електропостачання візуальних засобів, як електроприймачів I категорії особливої групи відповідно до вимог міжнародних стандартів і рекомендованої практики ІКАО.

Новим в роботі є алгоритм роботи автоматичного вводу резервного електропостачання із застосуванням спеціального пристрою безперебійного електропостачання – UPS.

Результати даної кваліфікаційної роботи можуть бути використані при проектуванні світлосигнальної системи аеродрому I, II, III категорій.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** СВІТЛОСИГНАЛЬНА СИСТЕМА АЕРОДРОМУ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЖИВЛЕННЯ, НАДІЙНІСТЬ, АЕРОДРОМИ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ, ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

**ССА** - світлосигнальна система аеродрому.

**ЗПС** - злітно-посадкова смуга.

**ЦА** – цивільна авіація

**ТП** – трансформаторна підстанція.

**КТП** – комплектна трансформаторна підстанція.

**ПС** - повітряне судно.

**ПАВ** – підсистема аеродромних вогнів.

**ПЕАВ** – підсистема електропостачання аеродромних вогнів.

**ВВІ** – вогні високої інтенсивності.

**ДГА** - дизель-електричний агрегат.

**АВР** – автоматичний ввід резерву.

**НФС** - надійнісно-функціональна схеми.

**ДБЖ** – джерело безперебійного живлення.

**ССР** – ресурс обмеженої потужності.

**ІРУ** – інтелектуальний процесор.

**UPS** - джерело безперебійного електропостачання.

**ОГ** – особлива група.

## ЗМІСТ

	Стор.
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ.....	8
1.1. Аналіз етапу візуального пілотування.....	8
1.2. Аналіз сертифікаційних вимог цивільної авіації України.....	9
1.3. Аналіз міжнародних стандартів і рекомендованої практики.....	13
Висновок	
РОЗДІЛ 2. ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ЩОДО НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АЕРОДРОМУ.....	18
2.1. Обґрунтування необхідності визначення показників надійності світлосигнальної системи аеродрому I категорії.....	18
2.2.Орієнтовний розрахунок показників надійності світлосигнальної системи аеродрому I категорії.....	21
2.2.1. Розрахунок показників надійності підсистеми вхідних вогнів.....	23
2.2.2. Розрахунок показників надійності підсистеми обмежувальних вогнів.....	24
2.2.3. Розрахунок показників надійності підсистеми бічних вогнів ЗПС.....	25
Висновок	
РОЗДІЛ 3.АНАЛІЗ І ОБРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ I КАТЕГОРІЇ ОСОБЛИВОЇ ГРУПИ НА ПРИКЛАДІ ССА.....	28
3.1. Вимоги до електропостачання аеродромних вогнів.....	28
3.2. Визначення показників надійності електропостачання світлосигнальної системи аеродрому.....	31
Висновок	
РОЗДІЛ 4. ВАРІАНТ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	36

4.1. Варіант електропостачання світлосигнальної системи з використанням UPS.....	36
Висновок	
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

## ВСТУП

Однією з найважливіших систем аеродрому є світлосигнальна система забезпечення польотів. При виконанні заходу на посадку пілот повинен обов'язково бачити певну кількість аеродромних вогнів, які забезпечують йому надійний візуальний контакт із землею. Таким чином, світлосигнальна система на аеродромах цивільної авіації разом з наземними радіотехнічними системами забезпечення заходу на посадку в складних метеорологічних умовах впливають на рівень безпеки польотів у зоні аеродрому.

Процеси відмови та відновлення 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 його складових частин, логічно сполучених певним чином с точки зору надійності.

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.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

### 1.1 Аналіз етапу візуального пілотування

Необхідний візуальний контакт з наземними орієнтирами - видимість частини наземних орієнтирів або візуальних засобів в час виконання взльоту чи заходу на посадку в проміжок часу, достатнього для оцінки пілотом місцезнаходження ПС та швидкості його зміни відносно номінальної траєкторії польоту.

#### Особливості етапу візуального пілотування

Пункт 1.2.32 документа [11] «Исследования показали, что пилоту в среднем требуется около 3,5 с для того, чтобы переключиться от наблюдения внешних визуальных ориентиров к показаниям приборов и обратно к внешним ориентирам».

Пункт 1.4.42 цього ж документа: «Для оценки траектории полета относительно осевой линии ВПП (переменная величина, упомянутая в п. 1.4.15, б), требуется около 3 с».

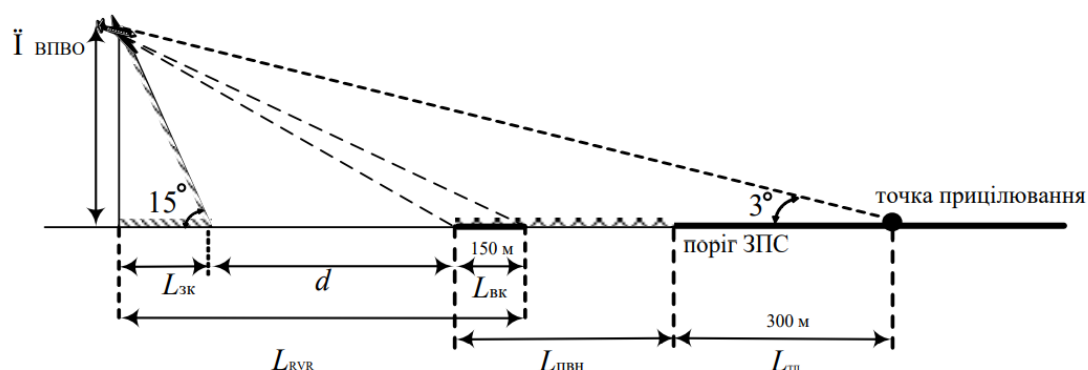
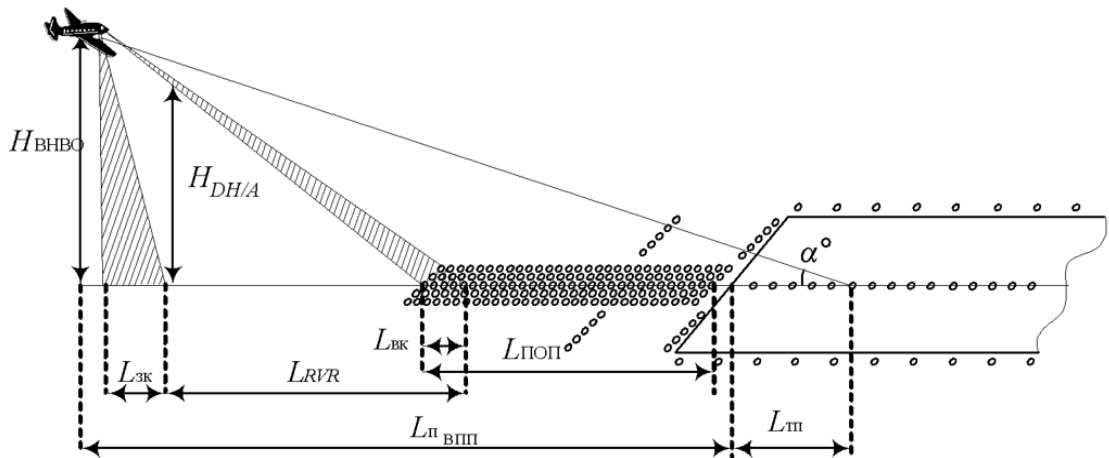


Рис. 1.1. Етап візуального пілотування.

Для установки та підтримки необхідного візуального контакту з наземними орієнтирами пілот повинен, як мінімум, спостерігати  $150\text{ м}$  ділянку земної

поверхні з наземними орієнтирами. Формула прийняття рішення на етапі візуального пілотування на ділянці від висоти початку візуальної оцінки до висоти прийняття рішення наведена на рис. 1.2.



БАЧУ → РОЗПІЗНАЮ → ОЦІНЮЮ → ПРИЙМАЮ РІШЕННЯ

Рис. 1.2. Формула прийняття рішення на етапі візуального пілотування.

В документі [3] також сказано «Следует иметь в виду, что пилот не принимает мгновенного решения при достижении конкретной высоты. Фактическое решение о продолжении захода на посадку и последующей посадке является аккумулятивным процессом, который заканчивается только на установленной относительной высоте. Если до достижения высоты принятия решения огни не установлены, процесс визуальной оценки является неполным и вероятность ухода на второй круг будет существенно возрастать».

## 1.2. Аналіз сертифікаційних вимог цивільної авіації України

Відповідно до [2] електричні приймачі поділяються на 3 категорії:

I категорія - електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити значну небезпеку та будь-які збитки.

До категорії II відносяться електроприймачі, переривання електропостачання яких призводить до масових браків, простоїв, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

Електроприймачі III категорії - решта електроприймачів, що не підпадають під визначення I та II категорій.

На аеродромах цивільної авіації застосовуються електроприймачі I категорії особливої групи, безперебійна робота яких потрібна з метою запобігання загрози життю людей, вибухам, пожегам і пошкодженням основного обладнання. Тому для них є окремі вимоги в документації ICAO.

Аеродромне електропостачання з ЗПС точного заходу на посадку I, II, III категорій, має бути від двох джерел [10]. Таким чином, якщо буде відмова однієї лінії електроенергії, друга лінія повинна бути спроможна забезпечити електропостачання всіх підключених до неї споживачів, та споживачів тієї лінії, що відмовила.

Відповідно до вимог документа [2]:

«11.2.2. Електроживлення приймачів електроенергії особливої групи першої категорії (табл. 11.1) повинно здійснюватися не менше чим від трьох незалежних джерел в одному із таких варіантів:

1) двох зовнішніх джерел по двох кабельним лініям через два трансформатори та автономне джерело живлення, що резервує обидва зовнішні незалежних джерела;

2) одного зовнішнього джерела і двох взаємозамінних автономних джерел живлення, що забезпечують резервування зовнішнього джерела;

3) одного зовнішнього джерела, одного автономного дизель-електричного агрегату і хімічного джерела струму, що забезпечує роботу технологічного обладнання протягом 2 годин;

4) двох зовнішніх джерел по двом кабельним лініям через два трансформатори і хімічне джерело струму, що забезпечує роботу технологічного обладнання на протязі 2 годин.»



Потужність автономних джерел повинна забезпечувати максимальне навантаження електроприймачів та електроспоживачів та забезпечувати нормальну безперебійну роботу. При цьому, виконання має бути окремою кабельною лінією, прокладеною безпосередньо до електроприймачів. Подача електроенергії від щитка, що знаходиться в ТП, повинна здійснюватися мінімум від двох кабельних ліній прокладених в повітрі. До низьковольтних щитків електроспоживання радіотехнічного, світлосигнального та метеорологічного обладнання мають підключатись лише споживачі для забезпечення роботи цих об'єктів. В таблиці 11.1 наведені вимоги до електропостачання об'єктів.

Таблиця 1.1

Таблиця 11.1. Вимоги до електропостачання об'єктів

№ п/п	Найменування об'єкта (електроприймача)	На ЗПС (напрямку) неточного заходу на посадку та на необладнаній ЗПС		На ЗПС (напрямку) точного заходу на посадку I категорії		На ЗПС (напрямку) точного заходу на посадку II і III категорій	
		Категорія електроприймача	Припустимий час перерви в електропостачанні, сек	Категорія електроприймача	Припустимий час перерви в електропостачанні, сек	Категорія електроприймача	Припустимий час перерви в електропостачанні, сек
1	Світло-сигнальне обладнання(ССО):						
	- для забезпечення посадки і зльоту	I 1	60	ОГ	15 2	ОГ	1
	- для забезпечення руління по аеродрому: а) бічні вогні РД і аеродромні знаки;	I 1	60	I	15	1	15
	б) стоп вогні, осьові вогні РД	–	–	–	–	ОГ	1
2	ОСП (БПРМ, ДПРМ)	I	60	I	60	I	60

Продовження таблиці 11.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	РМС:						
	- КРМ	I	60	1 3	15 4	ОГ	0
	- ГРМ	I	60	1 3	15 4	ОГ	0
	- внутрішній МРМ	-	-	-	-	I	1
	- ближній МРМ	I	60	I	60 <sup>4</sup>	I	1
1	2	3	4	5	6	7	8
	- дальній МРМ	I	60	I	60 <sup>4</sup>	I	10 <sup>4</sup>
4	Органи ОПР: - засоби авіаційного повітряного зв'язку;	I 1	1	ОГ	1	ОГ	1
	- диспетчерські пульти і засоби наземного авіаційного зв'язку	I 1	60	ОГ	15 2	ОГ	1
5	Метеообладнання	I 1, 5	60	I 5	60	I 5	60
6	Об'єкти радіолокаційного контролю і радіонавігації: - ОРЛ-А, ПРЛ	I 6	60	I	60	I	60
	- РЛС ОЛП	-	-	-	-	I	I 7
	- АРП	I 1, 5	60	I	60	I	60
	- МРЛ	II	-	II	-	II 8	60
	- ОПРС (ДПРС)	II	-	I	60	I	60

### Закінчення таблиці 11.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	- РСБН	I 6	60	I 6	60	I 6	60
	- VOR	I	60 4	I	60 4	I	60 4
	- DME/N	I	60 4	I	60 4	I	60 4
7	Обчислювальний центр аеродромної АС УВС	-	-	ОГ	По Сертифікаційній документації заводу виробника	ОГ	По Сертифікаційній документації заводу – виробника
8	Радіоцентри: - ПРЦ – ПрРЦ	I I I I	60 60	I I	60 60	I I	30 30
9	Загороджувальні вогні аеродромних перешкод	I 5	60	I 5	60	I 5	60
10	Охоронне освітлення, освітлення зон перонів на яких здійснюється обслуговування пасажирів	I 5	60	I 5	60	I 5	60

### 1.3 Аналіз міжнародних стандартів і рекомендованої практики

За вимогами міжнародних стандартів і рекомендованої практики ІКАО [1], системи електропостачання проектуються і надаються таким чином, щоб при відмові обладнання пілот не втрачав належного візуального та невізуальних контакту з орієнтирами і не отримував спотвореної інформації.

Відповідно до документу [5] час переключення вогню - час, необхідний для відновлення заміряний в заданому напрямку фактичної інтенсивності вогню до значення 50% після її падіння нижче 50% при перемиканні джерел

електропостачання, коли вогонь функціонує при значеннях інтенсивності 25% або вище.

Вимоги документа [4] для споживачів електричної енергії I категорії особливої групи передбачають наявність трьох джерел електропостачання з автоматичним вводом резервного джерела електропостачання в разі відмови основного.

Багато, щоб ввід резервного джерела електропостачання здійснювався на стороні низької напруги. В протилежному випадку необхідно приймати додаткові міри для блокування автономного джерела електропостачання.

Час переключення вогню повинен бути не більше ніж 1,0 с. Це означає, що система електропостачання ССА повинна складатися, принаймні з двох джерел електропостачання: незалежного джерела (основного) та одного резервного - автономного джерела.

Час перемикання вогню наочно демонструється (рис 1.3.)

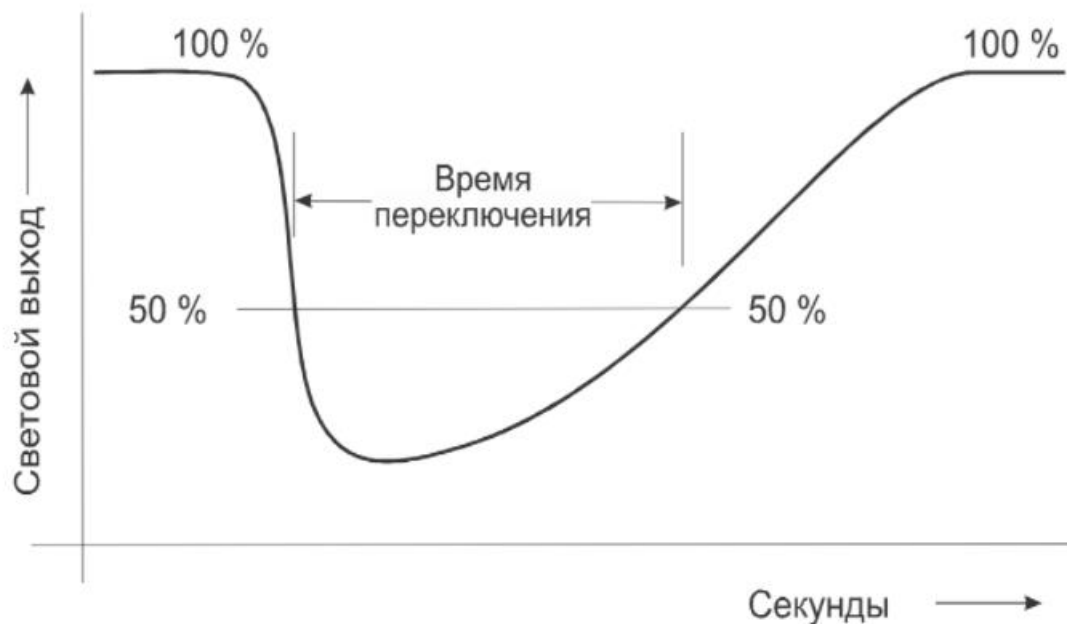


Рис. 1.3 Характеристика часу перемикання.

Час перемикання вогню, це не час перемикання джерел електропостачання в трансформаторній підстанції. По суті, час перемикання – це час переривання

роботи вогнів. Цей час може бути перевірений вимірюванням сили світла вогню в польових умовах або типовим вогнем, встановленим в камері. Слід зазначити, що при перемиканні джерел електричної енергії світловий потік, що випромінюється лампою розжарювання, не падає до нульової позначки завдяки тепловій інерції в нитці розжарювання. Це не відноситься до світлодіодних ламп, у яких інерційність джерела випромінювання практично безінерційне.

Для аеродромних візуальних засобів слід забезпечити резервне джерело електропостачання, що здатне продовжити електропостачання при відмові основного джерела. Під'єднання джерел електропостачання до тих засобів, для яких необхідно передбачити резервне електропостачання, проводиться таким чином, щоб ці засоби приймались відповідно до таблиці 8-1, що стосуються максимального часу перемикання. Для ЗПС, призначеної для зльоту в умовах дальності видимості на ЗПС менше 800 м, передбачається електропостачання, що відповідає вимогам таблиці 8-1.

При проектуванні електричних систем необхідно враховувати фактори, які можуть призвести до порушення нормальної роботи, такі, як втрати в електричній мережі, якість постачання і т.д.

Електропостачання ССА здійснюється від одної ТП, де розташовано два силових трансформатора до яких заведено два кабелі від двох високовольтних зовнішніх незалежних джерел електропостачання.

В якості резервного джерела електропостачання відповідно до вимог п.11.2.2, [1], використовуються автономне джерело електропостачання - дизель-генераторний агрегат номінальної потужності 150,0 – 250 кВА, номінальної напруги 400/230 В, частотою 50 Гц, в кількості 1 штуки, що встановлений в п'яти метрах від ТП і призначений для використання за межами ТП, просто неба.

Розроблена загальна електрична схема ТП представлена на креслені №1. На підставі даної схеми формується принципова електрична схема після вибору виробника електричного обладнання.

Таблиця 8.1 ІКАО. Час перемикання вогнів ЗПС.

ЗПС	Світлосигнальні засоби, потребуючі електрозабезпечення	Максимальний час перемикання
Необладнана	Система візуальної індикації глісади Посадкові вогні ЗПС Вхідні вогні ЗПС Обмежувальні вогні ЗПС	
Обладнана для неточного заходу на посадку	Система вогнів наближення Система візуальної індикації глісади Посадкові вогні ЗПС Вхідні вогні ЗПС Обмежувальні вогні ЗПС загороджувальні огні	15с 15с 15с 15с 15с 15с
Обладнана для точного заходу на посадку по категорії I	Система вогнів наближення Посадкові вогні ЗПС Система візуальної індикації глісади Вхідні вогні ЗПС Обмежувальні вогні ЗПС Вогні основний РДА Загороджувальні вогні	15с 15с 15с 15с 15с 15с 15с
Обладнана для точного заходу на посадку по категорії II/III	Близька до ЗПС 300-метрова ділянка системи вогнів наближення Інші ділянки системи вогнів наближення Загороджувальні вогні Посадкові вогні Вхідні вогні ЗПС Обмежувальні вогні ЗПС Осьові вогні ЗПС Вогні зони приземлення Всі вогні лінії "СТОП" Вогні основний РД	1с 15с 15с 15с 1с 1с 1с 1с 1с 1с 1с 15с
ВПП, призначена для зльоту в умовах дальності видимості на ЗПС менше 800 м	Посадкові вогні ЗПС Обмежувальні вогні ЗПС Осьові вогні ЗПС Всі вогні лінії "СТОП" Вогні основний РД Загороджувальні вогні	15с 1с 1с 1с 15с 15с

## **Висновок**

1. Аналіз особливостей етапу візуального пілотування демонструє, що відмова системи електропостачання ССА призведе до втрати екіпажем ПС необхідного візуального контакту з наземними орієнтирами, та в кращому випадку, відходу ПС на друге коло, а в найгіршому випадку виникнення авіаційної пригоди – аварії або катастрофи.

2. За результатами аналізу нормативно-технічних документів цивільної авіації України, сучасних стандартів і рекомендацій ІКАО, для проектування системи з часом переключення вогню на рівні 1,0 с найкращим варіантом є використання двох незалежних джерел електропостачання і одного автономного джерела.

3. Слід зазначити, що з 01.04.2021 вітчизняний документ СВЦАУ втратив силу і зараз використовується документ [3], який повністю відповідає вимогам ІКАО. В той же час рекомендації ІКАО щодо неточного заходу на посадку, також є неприйнятними. Краще слідувати вимогам СВЦАУ.

## РОЗДІЛ 2

### ФОРМУЛЮВАННЯ ВИМОГ ЩОДО НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АЕРОДРОМУ

#### **2.1. Обґрунтування необхідності визначення показників надійності світлосигнальної системи аеродрому I категорії**

Рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування в простих і складних метеорологічних умовах визначається надійністю та правильним функціонуванням візуальних засобів забезпечення безпеки польотів.

У свою чергу, правильне функціонування візуальних засобів визначається як надійністю самих візуальних засобів, так і надійністю системи їх електропостачання.

Для попереднього нормування надійності системи електропостачання ССА необхідно, щоб її надійність була більше або, принаймні на рівні з показниками надійності самої ССА. Для виконання цієї умови буде проведено визначення показників надійності ССА I категорії.

Відповідно до наказу [3] від 20 квітня 2021 року, всі технічні вимоги до візуальних засобів аеродрому і систем їх електропостачання регламентуються міжнародними Стандартами та Рекомендованою практикою Міжнародної організації цивільної авіації, [4].

Відмова вогню - подія, яка полягає у зниженні сили світла вогню у заданих кутах розсіювання понад 50% порівняно з нормованою силою світла нового вогню.

Критерії відмови сформульовані в [1] практично для всіх основних підсистем ССА I, II категорій для функцій зльоту і посадки.

Будь-яка відмова ССА за час візуального контакту, який триває від 10,0 до 60,0 секунд, від висоти прийняття рішення до повної зупинки ПС потенційно



може привести до втрати пілотом візуальної орієнтації. Таким чином, протягом усього часу взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА, її відмова може бути причиною виникнення особливої ситуації для ПС, тобто чинити вплив на рівень безпеки польотів.

Вважається, що візуальна інформація, отримана від кожної з підсистем є однаково важливою, тому відмова хоча б однієї з підсистем ССА приводить до відмови всієї системи. Найчастіше спостерігається два типи відмов підсистем ССА:

1. Відмова підсистеми аеродромних вогнів (ПАВ) - відбувається при відмові певної кількості вогнів, що більше припустимої кількості, або відмові двох вогнів підряд. Відмова ПАВ фіксується автоматично одразу після відмови, якщо ССА обладнана системами автоматичного контролю технічного стану аеродромних вогнів. Якщо така система не встановлена, проводяться планові перевірки технічного стану вогнів, періодичність яких зазвичай становить 12 годин. Тобто в період між двома перевірками, ССА може розглядатися як невідновлювана система.

2. Відмова підсистеми електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ) відбувається при відмові будь-якого з її елементів – регуляторів яскравості, кабелю або ізолюючих трансформаторів. Факт відмови фіксується автоматично, одразу ж після настання відмови.

В міжнародному нормативно-технічному документі [1] висунуто вимоги до резервного джерела електропостачання. Ці вимоги приведені в першому розділі таблиці 8.1. Вказаний рекомендований час перерви в електропостачанні світлосигнального обладнання аеродрому. Ця рекомендація не може бути прийнятною, так як етап візуального пілотування триває всього приблизно 15 секунд.

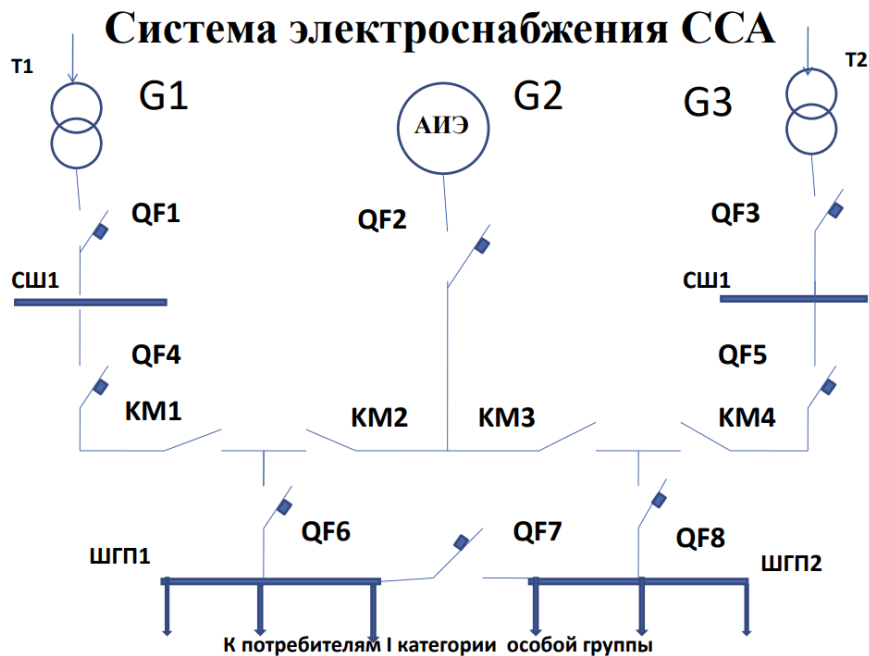


Рис. 2.1. Система електрозабезпечення ССА.

Електропостачання ССА (рис. 2.1) здійснюється від двох секцій шин гарантованого електропостачання – секції 1 і секції 2.

Кожен з силових трансформаторів на КТП працює на відповідну секцію шин гарантованого електропостачання, забезпечуючи навантажене резервування обох секцій шин. [8]

Резервування шин здійснюється на стороні низької напруги секційним вимикачем приладу автоматичного вводу резервного електропостачання (АВР).

Автономне джерело електропостачання - дизель-генераторний агрегат за допомогою АВР здійснює навантажене резервування обох секцій шин гарантованого електропостачання. Час запуску і виходу в номінальний режим автономного джерела складає не більше 15,0 с. Введення резервного електропостачання від дизель-генераторного агрегату при відмові основного джерела електропостачання здійснюється в автоматичному режимі за час, що не перевищує 15,0 с. відповідно до вимог п. 11.2.5, [1]. Регулятори яскравості розташовані в апаратній залі, що знаходиться в 10 м від ТП і підключені до обох секцій шин гарантованого електропостачання.

У разі виникнення на етапі візуального пілотування відмови системи

електропостачання аеродромних вогнів, це може призвести до втрати екіпажем ПС необхідного візуального контакту з наземними орієнтирами та виникненню особливої ситуації на борту ПС.

Зараз у світлооптичних системах сучасних вогнів використовуються компактні галогенні лампи розжарювання з концентрованою ниткою розжарення, що мають значну габаритну яскравість і технічний ресурс, що досягає 4000 годин. На практиці це означає, що біля двох – трьох років не потрібно замінювати джерела світла.

### **2.3. Орієнтовний розрахунок показників надійності світлосигнальної системи I категорії**

Критерії відмови, які сформульовані в документі [1], вказують, що кожна підсистема вогнів має свій критерій відмови. Ці критерії наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Значення критеріїв відмови підсистем ССА за стандартами ІКАО[1]

Назва підсистеми ССА	Кількісний критерій відмови, %
Підсистема вогнів наближення	15
Підсистема вогнів світлового горизонту	-
Підсистема вхідних вогнів ЗПС	5
Підсистема обмежувальних вогнів ЗПС	25
Підсистема бічних вогнів ЗПС	5
Підсистема бічних вогнів наближення	5
Підсистема бічних вогнів ЗПС зони приземлення	10
Підсистема осьових вогнів ЗПС	5

Для прикладу візьмемо ССА типу ВВІ-І з довжиною злітно-посадкової смуги – 2500 м та шириною – 45м.

Загальна кількість вогнів ССА:

- Вхідні вогні – 24шт.
- Обмежувальні вогні – 12шт.
- Бічні вогні – 52шт.

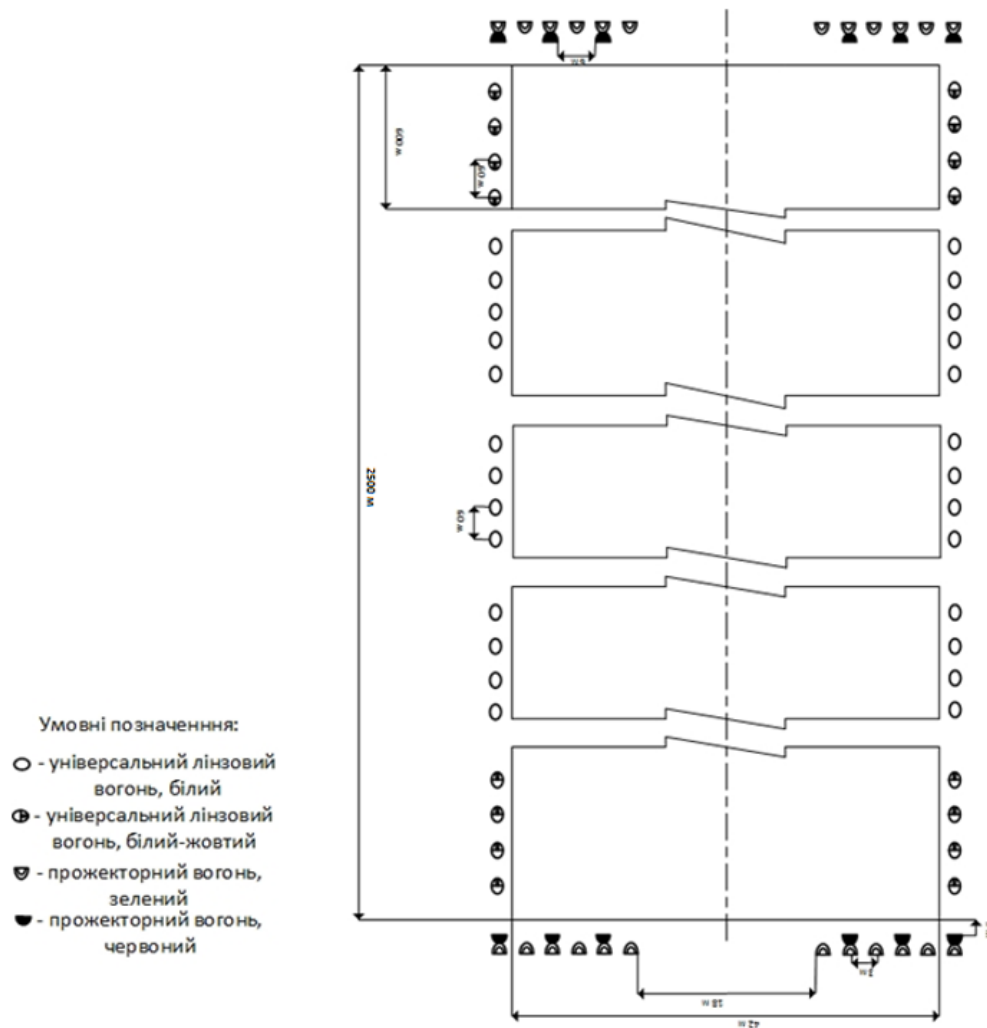


Рис. 2.2. Схема розташування вогнів ЗПС  
точного заходу на посадку І категорії.

### 2.2.1. Розрахунок показників надійності підсистеми вхідних вогнів ЗПС

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 24 \cdot 0.15 = 4$ .

Середній час наробітку на відмову одиночного вогню –  $T_0 = 2000$  годин.

Середній час наробітку на відмову регулятора яскравості –  $T_0 = 20000$  годин.

Середній час наробітку на відмову кабелю –  $T_0 = 100000$  годин.

Загальна кількість вогнів  $N_{av} = 24$  шт.

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 4$  шт.

Час використання підсистеми – 12 годин.

1. Визначення ймовірності безвідмовної роботи вогню за час  $t$ :

$$P_{av}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.994018$$

2. Визначення ймовірності безвідмовної роботи регулятора яскравості:

$$P_{ря}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.9994$$

3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабелю за час  $t$ :

$$P_{каб}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.99988$$

4. Визначення ймовірності відмови вогню за час  $t$ :

$$Q_{av}(t) = 1 - P_{av}(t) = 0.005982$$

5. Визначення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми бічних вогнів:

$$P_{pav} = \sum_{i=0}^{N_m} \left[ \frac{(N_{av} - i + 1)!}{(N_{av} - 2i + 1)! * i!} * P_{av}(t)^{N_{av}-i} * Q_{av}(t)^i \right] = 0.999$$

6. Визначення ймовірності відмови підсистеми бічних вогнів:

$$Q_{pav}(t) = 1 - P_{pav}(t) = 0.001$$

7. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабельної лінії:

$$P_{кл}(t) = P_{ря}(t) * P_{каб}(t) = 0.9992$$

$$P_{peav}(t) = P_{кл}(t)^2 = 0.9985$$

8. Визначення показників надійності:

$$P_{рсса}(t) = P_{pav}(t) * P_{реав}(t) = 0.998$$

### 2.2.2. Розрахунок показників надійності підсистеми обмежувальних вогнів

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 12 \cdot 0.15 = 2$ .

Середній час наробітку на відмову одиночного вогню –  $T_0 = 2000$  годин.

Середній час наробітку на відмову регулятора яскравості –  $T_0 = 20000$  годин.

Середній час наробітку на відмову кабелю –  $T_0 = 100000$  годин.

Загальна кількість вогнів  $N_{av} = 12$  шт.

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 2$  шт.

Час використання підсистеми – 12 годин.

1. Визначення ймовірності безвідмовної роботи вогню за час  $t$ :

$$P_{av}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.994018$$

2. Визначення ймовірності безвідмовної роботи регулятора яскравості:

$$P_{ря}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.9994$$

3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабелю за час  $t$ :

$$P_{каб}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.99988$$

4. Визначення ймовірності відмови вогню за час  $t$ :

$$Q_{av}(t) = 1 - P_{av}(t) = 0.005982$$

5. Визначення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми бічних вогнів:

$$P_{pav} = \sum_{i=0}^{N_m} \left[ \frac{(N_{av} - i + 1)!}{(N_{av} - 2i + 1)! * i!} * P_{av}(t)^{N_{av}-i} * Q_{av}(t)^i \right] = 0.999$$

6. Визначення ймовірності відмови підсистеми бічних вогнів:

$$Q_{pav}(t) = 1 - P_{pav}(t) = 0.001$$

7. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабельної лінії:

$$P_{кл}(t) = P_{ря}(t) * P_{каб}(t) = 0.9992$$

$$P_{реав}(t) = P_{кл}(t)^2 = 0.9985$$

8. Визначення показників надійності:

$$P_{ссса}(t) = P_{рав}(t) * P_{реав}(t) = 0.998$$

### 2.2.3. Розрахунок показників надійності підсистеми бічних вогнів ЗПС

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 52 \cdot 0.15 = 8$ .

Середній час наробітку на відмову одиночного вогню –  $T_0 = 2000$  годин.

Середній час наробітку на відмову регулятора яскравості –  $T_0 = 20000$  годин.

Середній час наробітку на відмову кабелю –  $T_0 = 100000$  годин.

Загальна кількість вогнів  $N_{ав} = 52$  шт.

Максимальна можлива кількість вогнів, що відмовили, при якій підсистема зберігає працездатний стан –  $N_m = 8$  шт.

Час використання підсистеми – 12 годин.

1. Визначення ймовірності безвідмовної роботи вогню за час  $t$ :

$$P_{ав}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.994018$$

2. Визначення ймовірності безвідмовної роботи регулятора яскравості:

$$P_{ря}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.9994$$

3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабелю за час  $t$ :

$$P_{каб}(t) = e^{-t(\frac{1}{T_0})} = 0.99988$$

4. Визначення ймовірності відмови вогню за час  $t$ :

$$Q_{ав}(t) = 1 - P_{ав}(t) = 0.005982$$

5. Визначення ймовірності безвідмовної роботи підсистеми бічних вогнів:

$$P_{pav} = \sum_{i=0}^{N_m} \left[ \frac{(N_{av} - i + 1)!}{(N_{av} - 2i + 1)! * i!} * P_{av}(t)^{N_{av}-i} * Q_{av}(t)^i \right] = 0.998$$

6. Визначення ймовірності відмови підсистеми бічних вогнів:

$$Q_{pav}(t) = 1 - P_{pav}(t) = 0.002$$

7. Визначення ймовірності безвідмовної роботи кабельної лінії:

$$P_{кл}(t) = P_{ря}(t) * P_{каб}(t) = 0.9992$$

$$P_{peav}(t) = P_{кл}(t)2 = 0.9985$$

8. Визначення показників надійності:

$$P_{ссса}(t) = P_{pav}(t) * P_{peav}(t) = 0.996$$

Загальний показник надійності ССА складає:

$$P_{рссса}(t) = 0.992$$

Для підсистем ССА типу ВВІ-І нормоване значення ймовірності безвідмовної роботи за 12 годин дорівнює 0,998.



## **Висновок**

1. Для попереднього формулювання показників надійності системи електропостачання ССА обґрунтовано та доведено про необхідність визначення надійності саме світлосигнальної системи.

2. Для світлосигнальної системи аеродрому I категорії визначено орієнтовні показники надійності. Доведено, що показники надійності системи електропостачання ССА мають бути кращими за показники надійності ССА або на одному рівні з ними.

3. Вимоги до надійності системи електропостачання ССА та її правильного функціонування визначені та науково обґрунтовані, що дає можливість правильно сформулювати структуру системи електропостачання ССА та обрати відповідні елементи для її створення.

**РОЗДІЛ 3**  
**АНАЛІЗ З ОБГРУНТУВАННЯМ ВАРІАНТІВ З**  
**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ СПОЖИВАЧІВ І КАТЕГОРІЇ ОСОБЛИВОЇ**  
**ГРУПИ НА ПРИКЛАДІ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АЕРОДРОМУ**

**3.1. Вимоги до електропостачання вогнів**

Візуальні засоби, до яких відноситься світлосигнальна система аеродрому (ССА), забезпечують руління, зліт, захід на посадку та посадку повітряних суден (ПС) у складних метеорологічних умовах вдень і вночі.

Рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування однозначно визначається правильним функціонуванням ССА, яка є споживачем електричної енергії першої категорії особливої групи.

Пункт 8.2.7.4. в нормативно-технічному документі [3] вказує, що електропостачання повинно здійснюватися не менше ніж по двох кабельних лініях від двох джерел електропостачання з рівномірно та симетрично підключеними вогнями високої інтенсивності в наступних підсистемах (для кожного напрямку посадки):

- прожекторних вогнів наближення і світлових горизонтів;
- бічних вогнів наближення;
- вогнів ЗПС (бічних, вхідних і обмежувальних);
- вхідних вогнів (на ЗПС точного заходу на посадку II і III категорій);
- вогнів ЗПС зони приземлення;
- осьових вогнів ЗПС.

У окремих типів вогнів та знаків в зазначених системах допускається:

- застосування джерел електропостачання без стабілізації вогнів, сила світла яких не нормується або перевищує необхідну (у два-три рази);

- паралельне живлення від мережі 220/380В - для аеродромних світломаяків і вогнів захисту ЗПС;

- спеціальні джерела і схеми електроживлення для імпульсних вогнів наближення і стоп-вогнів.

У системах вогнів високої інтенсивності електропостачання окремих груп вогнів по призначенню (підсистем) повинно бути виконане по окремих кабельних лініях від окремих джерел електропостачання або різних фаз так, щоб при відмові однієї з ліній живлення зберігалася, по можливості, не перекручена світлосигнальна картина.

Якщо припустити, що час вводу резервного електропостачання становить 15,0 с після відмови основного джерела електропостачання, то час переключення вогню становитиме мінімум 20,0 с.

Враховуючи, що етап візуального пілотування при точному заході на посадку по I категорії триває 15,0 – 20,0 с таке значення часу перерви в електропостачанні є неприпустимим і практичної реалізації підлягає вимога документа [1], яка вимагає час переключення вогню на рівні 1,0 с.

Бажано, щоб ввід резервного джерела електропостачання здійснювався на стороні низької напруги. В протилежному випадку необхідно приймати додаткові міри для блокування автономного джерела електропостачання.

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).

При відмові будь-якого з двох зовнішніх джерел електропостачання та виході в номінальний режим ДГА, відключається друге зовнішнє джерело електропостачання від секції шин гарантованого електропостачання, секційний вимикач АВР не відключається, а ДГА підключається і працює на обидві секції шин гарантованого електропостачання. При цьому працює зовнішнє джерело електропостачання перебуває в режимі ненавантаженого резерву по відношенню до ДГА. Розглянутий алгоритм по надійності не відрізняється від

першого, але має недолік, який викликає сумніви в його доцільності для практичного застосування. При роботі ДГА на обидві секції шин гарантованого електропостачання його навантаження наближається до номінального значення, витрати палива, при цьому, зростають, практично, у два рази.

Технічний ресурс ДГА, також, активно зменшується, тому розглянутий варіант алгоритму не вважається доцільним.

Електропостачання регуляторів яскравості та елементів системи дистанційного керування ССА здійснюється від розташованої поруч ТП-ССА, для чого в контейнері передбачаються спеціальні технологічні отвори для прокладки кабельних ліній електропостачання регуляторів яскравості, дистанційного керування, та кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів.

Для визначення показників безвідмовності такої системи електропостачання, розробимо надійнісно-функціональну схему, 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

Три елементи системи електропостачання з точки зору надійності з'єднані паралельно, електропостачання ССА існує допоки хоча б одне з джерел перебуває у працездатному стані. Тобто критерій відмови системи формулюється таким чином – відмова системи електропостачання відбудеться у випадку відмови всіх її елементів.

$$P_{1c}(t) = P_{\text{АВР}}(t) \cdot (1 - P_{G1}(t)) \cdot (1 - P_{G2}(t)) \cdot (1 - P_{\text{ДГА}}(t))$$

За умови реалізації другої гіпотези про стан відмови пристрою АВР –  $Q_{\text{АВР}}(t)$  – НФС системи електропостачання буде виглядати наступним чином (рис. 3.1.)

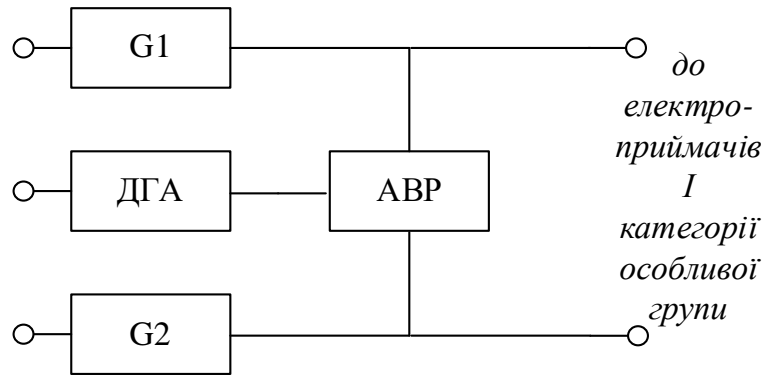


Рис. 3.1. Надійнісно-функціональна схема електропостачання світлосигнальної системи аеродрому

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

Аналітично реалізацію другої гіпотези можна описати наступним виразом:

$$P_{IIc}(t) = (1 - P_{ABP}(t)) \cdot P_{G1}(t) \cdot P_{G2}(t) \quad (3.2)$$

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

$$P_c(t) = P_{Ic}(t) + P_{IIc}(t) \quad (3.3)$$

### 3.2. Визначення показників надійності електропостачання світлосигнальної системи аеродрому

Живлення приймачів електроенергії особливої групи першої категорії здійснюється щонайменше від трьох незалежних джерел. Його можна умовно розділити на 4 варіанти:

Перший – два незалежні джерела по двох кабельних лініях через два трансформатори та автономне джерело, що служить резервом для незалежних джерел живлення.

Другий – одне зовнішнє джерело живлення та два взаємозамінні автономні джерела, що забезпечують резервування зовнішнього джерела.

Третій – одне зовнішнє джерело, один автономний дизель-електричний агрегат і хімічне джерело струму, що зможе забезпечити роботу обладнання протягом 2 годин.

Четвертий – два незалежних джерела по двом кабельним лініям через два трансформатори та хімічне джерело струму, що забезпечує роботу технологічного обладнання протягом 2 годин.

При першому та четвертому варіантах потужність трансформатора і пропускної спроможності кожної лінії електропередачі з урахуванням перевантаження повинні забезпечувати електронавантаження усіх залучених до даної ТП споживачів електроенергії.

Для другого варіанта автономні дизель-електричні агрегати повинні забезпечувати використання будь-якого з них у якості основного джерела з автоматичним резервуванням його зовнішнім джерелом з переходом на зовнішнє джерело.

При варіанті 3 автономні дизель-електричні агрегати повинні забезпечувати автоматичне резервування зовнішнього джерела, при цьому хімічні джерела повинні працювати в буферному режимі або їхній автоматиці повинна забезпечувати перехід електроживлення на хімічне джерело і потім на автономний дизель-генератор, що запусився.

Час перемикання вогню наведений в таблиці 1.1.

При проектуванні схеми електропостачання вогнів була обрано послідовна схема електропостачання вогнів, оскільки така схема забезпечує незалежність сили світла аеродромного вогню від відстані до джерела електропостачання.

Електропостачання підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги (ЗПС) для ССА типу ВВІ-І зображено на рис. 3.2.

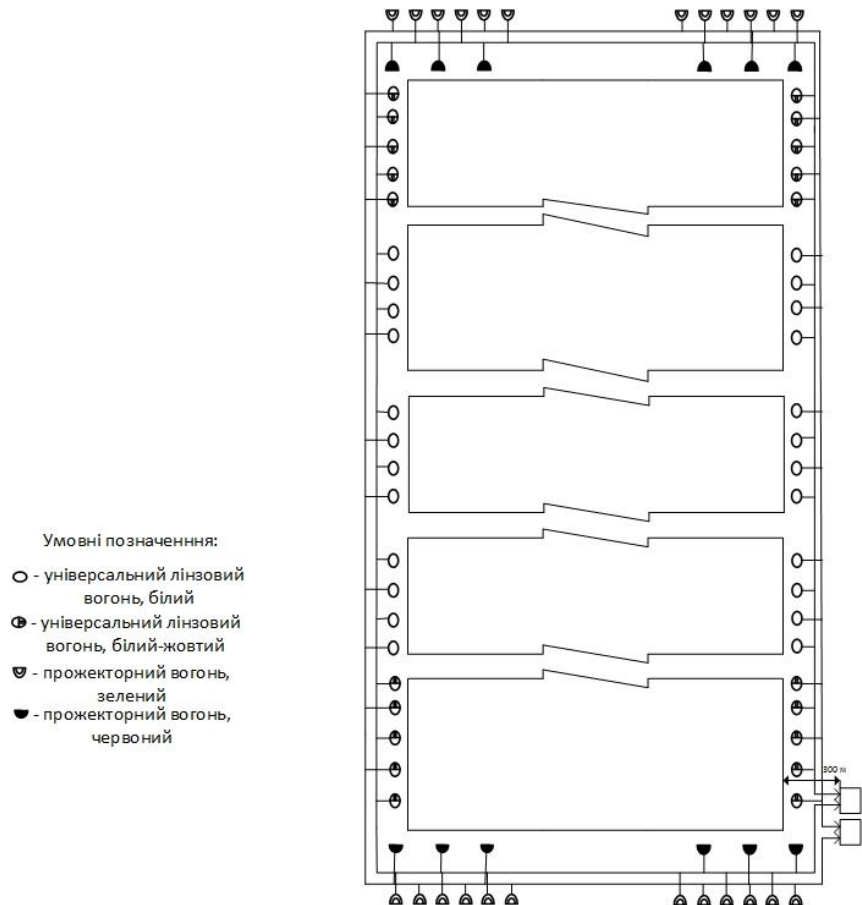


Рис. 3.2. Схема електропостачання підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги для ССА типу ВВІ-І

Електропостачання ССА здійснюється від двох секцій шин гарантованого електропостачання .

Кожен з силових трансформаторів на ТП працює на відповідну секцію шин гарантованого електропостачання, забезпечуючи навантажене резервування обох секцій шин.

В якості математичної моделі відмови елементів системи електропостачання ССА найчастіше використовується формула експоненціального розподілу

випадкової величини – часу виникнення відмови, яка може застосовуватися для більшості технічних систем, в тому числі і систем електропостачання ССА.

Відмова двох кабельних ліній в електропостачанні аеродромних вогнів з двома або трьома кабельними лініями завжди призводить до її непрацездатного стану. Відмова будь-якого з елементів аеродромного вогню призводить до його відмови в цілому.

Система аеродромних вогнів є складною системою з великою кількістю елементів які резервують один одного. При експлуатації підсистема аеродромних вогнів вважається не відновлювальною системою. Таким чином, ПССА під час експлуатації являється системою, що складається з двох підсистем: відновлюваної підсистемі електропостачання аеродромних вогнів і не відновлюваної підсистемі аеродромних вогнів. Для кількісної оцінки надійності ССА та її підсистем використовується номенклатура показників надійності, до якої увійшли показники, що характеризують ССА та її підсистем.

Після визначенням показників надійності підсистемі 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.

Як видно з рис. 3.1. надійнісно-функціональна схеми (НФС) системи електропостачання ССА представляє собою схему з містковим з'єднанням елементів в систему.

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



## **Висновок**

1. Необхідна надійність ССА є основною умовою для виконання безпечних і регулярних польотів на етапі візуального пілотування в простих і складних метеоумовах на аеродромах цивільної авіації. Рівень надійності обладнання, що входить до складу ССА, визначає терміни і обсяг проведення експлуатаційних заходів з підтримання його в працездатному стані, планового технічного обслуговування і ремонту.

2. З двох варіантів електропостачання ССА перевага надається 1 варіанту, коли ДГА працює на одну секцію. Коли ДГА працює на дві секції – він використовує в рази більше палива, що є економічно не вигідним варіантом.

## РОЗДІЛ 4

### ВАРІАНТ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

#### 4.1. Варіант електропостачання світлосигнальної системи з використанням UPS

Джерело (агрегат) безперебійного живлення (ДБЖ) (англ. Uninterruptible Power Supply (UPS)) [9] - технічний засіб, що має не менше двох введів від первинних джерел струму та один або кілька виводів, які забезпечують перехід навантаження з одного джерела на інше для безперервного електропостачання споживачів в разі відключення або погіршення якості електричної енергії на вході від первинного джерела. Набір функціональних пристроїв для тих самих цілей називається "система безперебійного живлення". Системи можуть містити резервні функціональні вузли.

Використання джерела безперебійного живлення (ДБЖ) – один з альтернативних варіантів. У випадку відмови загального джерела виконується двохетапний процес. На першому етапі ДБЖ забезпечує роботу загального джерела живлення ССР. Цей процес може тривати від 15 до 30 хвилин та довше, в залежності від розміру акумулятора. До того як батарея розрядиться, запускається ІПУ для початку другого етапу.

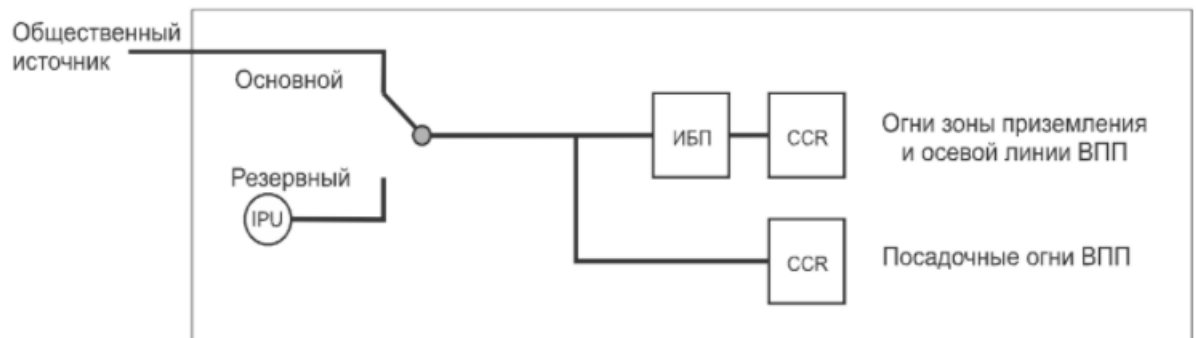


Рис. 4.1. Розподіл світлотехнічного обладнання .

У документі [6] сказано, що оскільки у ССР немає ризику перерви подачі живлення, описаний вище процес може застосовуватись до II та III категорій електроживлення. В цьому є переваги для аеропортів. Час роботи IPU, як резервного джерела, зменшується, що сприяє економії палива та витрат на обслуговування.

Найчастіше ДБЖ являє собою електронний блок з аккумуляторною батареєю, такий пристрій називається статичне джерело безперебійного живлення (SUPU).

ДБЖ, що складається з двигуна та електрогенератора з маховиками для збереження енергії називається поворотне джерело безперебійного живлення (RUPU), втратили свою популярність через технічних проблем. Але зараз вертаються завдяки технічним допрацюванням.

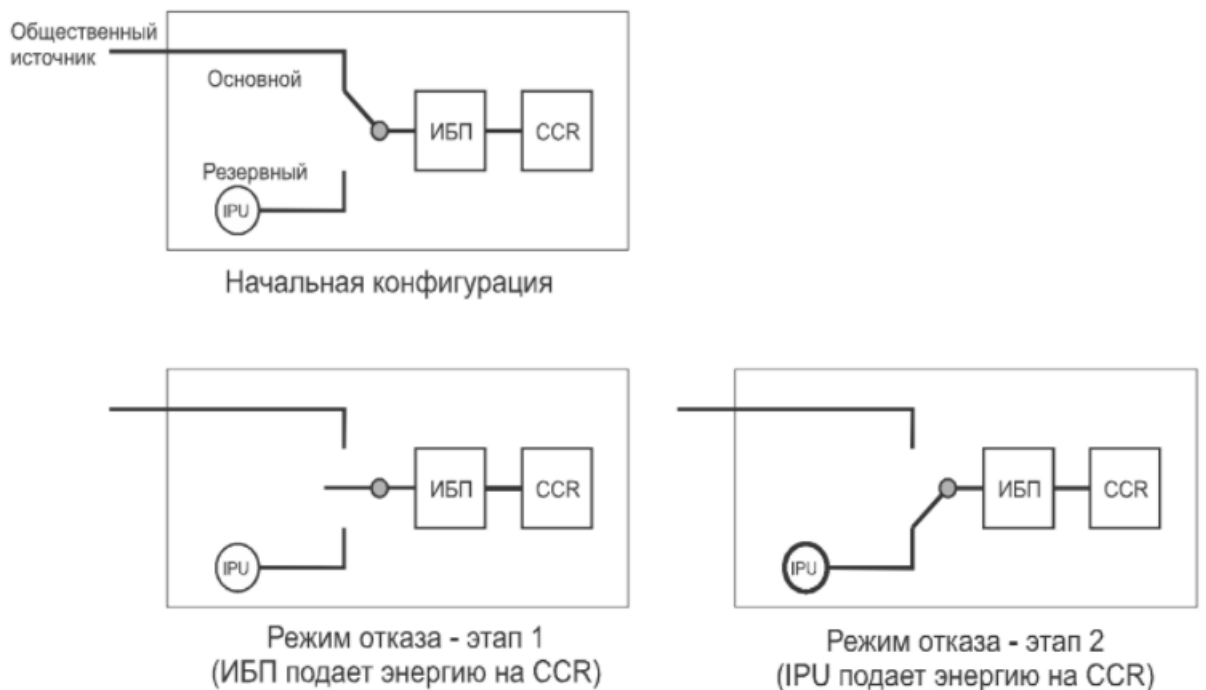


Рис. 4.2. Використання ДБЖ

Зі складу споживачів електроенергії категорії I виділяється особлива група споживачів, безперебійна робота яких має критичне значення для забезпечення безпеки польотів.

Як третє незалежне джерело живлення для об'єктів, що мають електроприймачі ОГ категорії I, та як друге незалежне джерело для інших електроприймачів категорії I можуть бути використані розподільні підстанції енергосистеми, місцеві електростанції, спеціальні агрегати безперебійного живлення, хімічні джерела тощо.

## **ВИСНОВКИ**

**1.** Відмова системи електропостачання ССА призводить до втрати екіпажем ПС необхідного візуального контакту з наземними орієнтирами, що може призвести до катастрофи. Найкращим варіантом є використання двох незалежних джерел електропостачання і одного автономного джерела.

**2.** В дипломній роботі докладно розглянуті основні принципи електропостачання світлосигнальної системи аеродрому з урахуванням усіх вимог нормативно-технічних документів цивільної авіації України та ІКАО.

**3.** При виборі типу електропостачання аеродрому ЦА перевагу слід віддавати тому варіанту, що є найбільш вигідно економічною з фінансової точки зору та екологічної .

**4.** Вимоги висунуті до резервного джерело електропостачання вказують рекомендований час перерви в електропостачанні світлосигнального обладнання аеродрому. Ці рекомендації не можуть бути прийнятними, через те, що весь етап візуального пілотування триває всього приблизно 15 секунд.

**5.** Три елементи системи електропостачання з'єднані паралельно, це дає змогу електропостачанню ССА бути у працездатному стані, допоки хоча б одне з джерел має працездатний стан. В такому випадку відмова системи електропостачання відбудеться у випадку відмови всіх елементів.

**6.** Використання UPS є доцільним варіантом, через те, що у випадку відмови, система підтримує напругу, доки запусниться ДГА. В той самий час наявність UPS в системі електропостачання ССА приводить до того, що ДГА можна не запускати.

## СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: в 2 т. / Издание восьмое, июль 2018. - Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. (ИКАО. Международные стандарты и рекомендуемая практика) .
2. ДБН В.2.5-28:2018.
3. Руководство по проектированию аэродромов. Издание второе, 2017. Часть 5. Электрические системы
4. Наказ Державіаслужби №1346 від 01.04.2021р.
3. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України. Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 17.03.2006, № 201.
4. Дос 9157 Руководство по проектированию аэродромов. Часть пятая. Электрические системы. - изд. 2, 2017.
5. Дев'яткіна С.С. Визначення надійності світлосигнальних систем аеродромів на етапах проектування, сертифікації та експлуатації: Дис... канд. техн. наук: 05.22.20. - К., 2003.
6. С. Дев'яткіна Визначення критеріїв відмови світлосигнальних систем аеродромів / Вісник НАУ. – 2006. – № 1. – с. 207 – 211.
7. Джерело безперебійного живлення [Електронний ресурс], [https://uk.wikipedia.org/wiki/Джерело\\_безперебійного\\_живлення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Джерело_безперебійного_живлення)
8. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: в 2 т. / Издание восьмое, июль 2018. - Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. (ИКАО. Международные стандарты и рекомендуемая практика) .
9. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. - Изд. 1, 1983. Дос.9157-AN/901.

10. Азарсков В.М., Дев'яткіна С.С. Надійність світлосигнальної системи аеродрому та безпека польотів на етапі візуального пілотування у складних метеоумовах - Вісник Транспортної академії України №4, 2001.

11. Дев'яткіна С.С. Методика визначення надійності світлосигнальних систем аеродромів” - Матеріали III Міжнародної науково - технічної конференції «Авіа - 2001»

12. Руководство по проектированию аэродромов (Doc 9157-AN/901). Часть четвертая. Визуальные средства. 5-е изд. 2021 г. - ИКАО