

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Квасніков В. П.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання дипломної роботи**  
**Жабка Владислава Валерійовича**  
(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема роботи «Наукові принципи реконструкції візуальних засобів забезпечення польотів» затверджена наказом ректора від « \_\_\_ » вересня 2020 року.

2. Термін виконання роботи з 05 жовтня 2020 року по 13 грудня 2020 року та з 21 грудня 2020 року по 31 грудня 2020 року.

3. Вихідні дані до роботи: ССА типу ВВІ-І аеродрому „Київ” (Жуляни).

4. Зміст пояснювальної записки:

РОЗДІЛ 1. Основні концептуальні принципи і задачі реконструкції світлосигнальних систем аеродромів.

РОЗДІЛ 2. Аналіз світлосигнальної системи типу ВВІ-1 першої категорії аеродрому “Київ” (Жуляни).

РОЗДІЛ 3. Реконструкція складу, структури та конфігурації вогнів злітно-посадкової смуги.

РОЗДІЛ 4. Реконструкція підсистеми електропостачання аеродромних вогнів злітно-посадкової смуги.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

5.1. схеми розташування аеродромних вогнів.

5.2. схеми електропостачання підсистем ссА.

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Ознайомлення з темою дипломної роботи	05.10.2020-07.10.2020	Виконано
2	Створення плану дипломної роботи	08.10.2020-10.10.2020	Виконано
3	Збір інформації, її опрацювання та аналіз	11.10.2020-17.10.2020	Виконано
4	Написання першого розділу та передача на перевірку керівнику	18.10.2020-25.10.2020	Виконано
5	Написання другого розділу та передача на перевірку керівнику	26.10.2020-05.11.2020	Виконано
6	Написання третього та четвертого розділу	06.11.2020-18.11.2020	Виконано
7	Написання п'ятого розділу	19.11.2020-02.12.2020	Виконано
8	Створення презентації для захисту дипломної роботи	03.12.2020-07.12.2020	Виконано
9	Завершення роботи і написання	08.12.2020-	Виконано

	висновків	12.12.2020	
10	Обговорення якості виконаної роботи з керівником	13.12.2020	Виконано

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Ванецян Сергій Геворкович  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Жабко Владислав Валерійович  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## ЗМІСТ

Реферат.....	
Перелік умовних позначень.....	
Вступ.....	
РОЗДІЛ 1. Основні концептуальні принципи і задачі реконструкції світлосигнальних систем аеродромів.....	
1.1. Основні концептуальні принципи реконструкції світлосигнальних систем аеродромів.....	
1.2. Основні задачі реконструкції світлосигнальної системи аеродрому..	
Висновки.....	
РОЗДІЛ 2. Аналіз світлосигнальної системи типу ВВІ-1 першої категорії аеродрому “Київ” (Жуляни).....	
2.1. Загальна характеристика світлосигнальної системи аеродрому.....	
2.2. Аналіз складу і конфігурації підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги.....	
2.3. Структура електропостачання підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги.....	
Висновки.....	
РОЗДІЛ 3. Реконструкція складу, структури та конфігурації вогнів злітно-посадкової смуги.....	
3.1. Аналіз нормативно-технічних документів щодо структури, складу, конфігурації підсистеми осьових вогнів ЗПС.....	
3.2. Аналіз нормативно-технічних документів щодо структури, складу, конфігурації підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги зони приземлення.....	
3.3. Конфігурація підсистеми осьових вогнів злітно-посадкової смуги з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 метрів.....	
3.3.1. Світлотехнічні характеристики осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування 15 м.....	

3.4. Реконструкція підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги зони приземлення.....

3.4.1. Вогні для підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення.....

Висновки.....

РОЗДІЛ 4. Реконструкція підсистеми електропостачання аеродромних вогнів злітно-посадкової смуги

4.1. Вимоги до електропостачання вогнів .....

4.2. Аналіз системи електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 м.....

4.3. Вдосконалена система електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 м.....

4.4. Реконструкція системи електропостачання вхідних вогнів злітно-посадкової смуги.....

4.5. Вдосконалення системи електропостачання аеродромних вогнів злітно-посадкової смуги в світлосигнальних системах аеродрому I-III категорій.....

4.6. Розрахунок потужності кабельних ліній.....

## ВСТУП

Однією з найважливіших систем в аеропорту є система сигналізації польоту. Під час зльоту, заходу на посадку та посадки пілот літака повинен бути впевненим, що бачить кілька орієнтирів з повітряних ліхтарів, які забезпечують візуальний контакт із землею в умовах низької видимості вдень та вночі. Системи сигналізації польоту на аеродромах цивільної авіації України, від суші радіотехнічного контролю Заходу, до посадки в відривних метеорологічних умовах, безпечно вплинуть на рівень безпеки та регулярні польоти в зоні аеродрому .

В аеропорту "Київ" (Жуляни) він працює і встановлюється з системою вітло-сигналізації від вогняного високо інтенсивно (приймається в) для точного підходу до посадки I категорії, що забезпечує вгадування і політ польоту літака, тобто з початковими значеннями звичок прийняття рішень:  $DH \geq 60$  м та відстань, яку слід бачити на  $ZP-RVR \geq 550$  м.

Злітно-посадкова смуга має дві магнітні завіси для зльоту та посадки МК-81 ° та МК-261 °. В аеропорту, щоб забезпечити початкову видимість пропуску перешкод при наближенні до посадки з МК-81 °, поріг злітно-посадкової смуги становить 150 м. Для МК-261 ° поріг дорівнює 48м зробити, щоб було необхідно переналаштувати ближні ліхтарі на ділянці 300 м.

При захисті на порозі ЗПС, різні відстані для зльоту та посадки. Через це два пороги захисту створюють проблеми, пов'язані з процесом кермування навколишнього середовища при пожежах ЗП.

Проектне рішення для управління оточенням вогню передбачає прошивання кабельних ліній. Для цього рішення потрібен кабель високої напруги 80 кВ та пошиття ПК, що погано впливає на показники роботи.

Ця проблема актуальна не лише для київського аеродрому (Жуляни), а й для інших українських аеропортів, де враховано аналітичний опис обладнання, яке реконструюється. Це негативно позначиться на їх економічних показниках та показниках діяльності. Ідеї, вироблені в цій

дипломатичній роботі, можуть стати вікторіані під час реконструкції інших аеропортів нашої країни.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПРИНЦИПИ І ЗАДАЧІ РЕКОНСТРУКЦІ СВІТЛОСИГНАЛЬНИХ СИСТЕМ АЕРОДРОМІВ

### 1.1. Основні концептуальні принципи модернізації світлосигнальних систем аеродромів

Десантна цивільна авіація України працює відповідно до гарантованого терміну служби, що негативно відображається на рівнях безпеки та регулярних рейсах на етапах візуального пілотування, переважно у метеорологів низького рівня.

Під час реконструкції в цій роботі, зважаючи на загартовану техніку ССА, що працює, вона має більше технічних характеристик, вироблених провідними іноземними виробниками сигнального обладнання для літаків цивільної авіації.

З урахуванням технічного стану та типом устаткування SSA, що працює, потужністю аеродрому та перспективами його розвитку, реконструкція обладнання SSA повинна бути здійснена один раз, із повною заміною старого обладнання на нове одна, або в декілька етапів реконструкція типів обладнання на стадії реконструкції ... Ця реконструкція - це повна поетапна фіксація нового обладнання для володіння "Вітло-сигналізацією", що дозволить забезпечити експлуатація аеродрому першої категорії.

Світлоігнальна станція аеродрому I категорії видна одній з найдорожчих систем, яка забезпечує зліт, посадку та руління повітряних суден (PS) на аеродромі, тоді принципи, на яких проводиться її реконструкція, повинні бути науково обґрунтовані. В цьому розділі розглядаються основні концептуальні принципи реконструкції аеродромного світлосигнального обладнання, що в майбутньому буде застосоване в технологічному процесі реконструкції ССА.

Під ідеєю мається на увазі обрана та науково обґрунтована сукупність методів та послідовність їх застосування, яка гарантує позитивне вирішення конкретної проблеми – в даному випадку реконструкції світлосигнального



обладнання аеродрому. Основні концептуальні принципи реконструкції ССА аеродрому :

створення за результатами реконструкції ССА I категорії та забезпечення нею нормованих значень рівнів безпеки польотів на етапах візуального пілотування в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому I категорії.

Виконання правил «4с» в процесі проведення реконструкції, тобто сила світла вогнів (candle), колір випромінювання (Color), конфігурація на льотному полі аеродрому (configuration) та зона розповсюдження світлового потоку (coverage) мають відповідати всім сучасним вимогам нормативно-технічних документів ЦА України, [1], стандартам і рекомендаціям ІКАО [2,3], а також, європейським стандартам якості.

Правило «4с», що сформовано з початкових літер вищеназваних англійських слів доповнено авторами ще однією літерою – «R», яка означає (Reliability) – «Надійність», тобто номінальні значення технічних параметрів обладнання ССА повинні зберігатись в установлених межах протягом певного часу або напрацювання.

Правило виглядає, як: «4с + R». Нормування показників надійності окремих підсистем аеродромних вогнів ССА здійснюється на підставі аналізу впливу показників надійності ССА та окремих її підсистем на рівень безпеки польотів в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому I категорії.

можлива мінімізація за результатами реконструкції одноразових капітальних витрат на придбання, встановлення та ввід у експлуатацію та витрат на технічне обслуговування і ремонт нового обладнання ССА при обов'язковому дотриманні перших двох сформульованих принципів.

Даний принцип означає правильний вибір світлосигнального обладнання з врахуванням співвідношення: «Ціна / Якість» та всіх індивідуальних характеристик аеродрому, таких, як: кліматична характеристика, інтенсивність повітряного руху (теперішня і, та, що прогнозується, як мінімум на 5-7 років), розклад повітряного руху тощо.

В умовах енергетичної кризи до даного принципу слід, також, віднести вибір обладнання з урахуванням можливостей впровадження технологічних процесів економії електричної енергії та паливно-мастильних матеріалів в процесі використання ССА за прямим призначенням і при проведенні технічного обслуговування та ремонту її обладнання.

## **1.2. Основні задачі реконструкції світлосигнальної системи аеродрому**

Для реалізації установки - реконструкції сигнального обладнання аеропорту "Київ" (Жуляни) шляху повного обслуговування обладнання, необхідно підготувати обладнання та вирішити основні проблеми:

1. Проаналізувати вихідні дані щодо реконструкції повітряно-десантної сигналізації «Київ» (Жуляни), тобто визначити технічне обладнання для наступної поетапної установки, бажано без зупинки повітряних польотів.

2. Проаналізовано та враховано порушення нормативно-технічних документів цивільної авіації України, стандарту та рекомендацій ІКАО, нормативно-технічних документів на операційні системи повітряного судна (авіаційні компанії) до всіх елементів категорії II

3. Обґрунтувати вибір типів аеродромних вогнів (верхні, занурені у воду, високі, низької інтенсивності тощо) для кожного з вогнів, які будуть включені до інвентаризації реконструйованого АСУ.

4. На основі результатів аналізу вихідних даних науково обґрунтувати доповнення ЗСА, тобто розглянути та науково обґрунтувати довжину підсвічувальних вогнів від двох напружуючих ударів, які пройшли через нормативно-технічний документ, який визначає ефект довжини ближнього світла підходу 4].

5. Інструмент для вибору повноти SSA із регулюванням довжини підхідних вогнів та горизонтів Вітлова для вибору та наукового обґрунтування конфігурації підхідних вогнів та горизонтів Вітлова типу

прожектора від обох напруг нижче за течією однакові категорії повітряного потоку I та II.

6. Визначити та забезпечити балансування відповідно до  $\zeta$  або світла підсистему бокових ліхтарів злітно-посадкової смуги і підсистему бортових вогнів SSA.

7. Вибрати і науково обґрунтуйте джерело живлення для повітряних ліхтарів, розрахуйте електричний тиск кабельних ліній, шип і довжину кабельних ліній для кожного джерела живлення, виберіть нове значення для роботи в кабельних лініях і вибрати відповідні регулятори для відповідних.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ СВІТЛОСИГНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТИПУ ВВІ-1 ПЕРШОЇ КАТЕГОРІЇ АЕРОДРОМУ «КИЇВ» (ЖУЛЯНИ)

#### 2.1. Загальна характеристика світлосигнальної системи аеродрому

Світлосигнальна система аеродрому (ССА) - це сукупність електротехнічних та світлотехнічних пристроїв, розташованих на території аеродрому за певною схемою та призначених для забезпечення пілота повітряного судна (ПС) візуальною інформацією при виконанні зльоту, заходу на посадку, посадки і руління в умовах обмеженої видимості вдень і вночі.

На аеродромі «Київ» (Жуляни) встановлена і експлуатується світлосигнальна система з вогнями високої інтенсивності (ВВІ) для точного заходу на посадку по I категорії. Це означає, що ССА повинна відповідати усім вимогам нормативно-технічних документів ЦА України, Стандартам і Рекомендаціям ІКАО, вказаних в додатку 14 [1] та Doc 9157 [2], щодо ССА I категорії та забезпечувати зліт, посадку та руління ПС в умовах експлуатаційного мінімуму (ЕМ) аеродрому I категорії, тобто мінімальних значень висоти прийняття рішення:  $DH \geq 60$  м і дальності видимості на ЗПС- $RVR \geq 550$  м.

ЗПС має два магнітних курси для зльоту та посадки: МК-81° та МК-261°. На аеродромі для забезпечення мінімальної висоти прольоту перешкод при заході на посадку з МК-81° поріг ЗПС зміщений на 150 м. З МК-261° поріг зміщений на 48 м, для того, щоб забезпечити можливість встановлення підсистеми вогнів наближення на ділянці 300 м. Зміщеним називається поріг ЗПС, що не співпадає з її торцем.

При наявності зміщеного порогу ЗПС має різні наявні дистанції розбігу та посадки (табл.2.1).

Таблиця 2.1. Фізичні характеристики злітно-посадкової смуги аеродрому

Позначення ЗПС Номер	Розмір ЗПС, м	Розмір вільних смуг, від перешкод, м	Розмір льотної смуги, м	Наявна дистанція розбігу, м	Наявна злітна дистанція, м	Наявна дистанція перерваного зльоту, м	Наявна дистанція посадки, м
08	2310×45	150×150	2460×300	2310	2460	2310	2160
26	2310×45	150×150	2460×300	2160	2310	2310	2262

## 2.2. Аналіз складу і конфігурації підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги

Відповідно до нормативно-технічних документів вимог [1], [2], вогні інтенсивності (отримані в - I, II, III) - призначені для забезпечення завершального етапу заходу на посадку та посадки РС у точний захід по лініях I, II, III категорій, а також руління та зліт.

У наборах вогнів інтенсивності віокой на ЗПС точного підходу до посадки I, II, III категорій він не повинен відключатися після подачі живлення від стабілізованих джерел (регуляторів здоров'я).

Згідно з нормативно-технічним документом вимог [1], п. 8.2.2.1-8.2.2.6, на ЗПС повинні бути передбачені бічні ліхтарі, які перемагають вночі та / або вдень в умовах погіршення зору, а також як на ЗПС точного підходу до посадки I, II, III категорій. Бічні вогні повинні бути видні по всій довжині RR, два паралельних ряди в одному і тому ж вигляді від лінії RR і не далі 3 від краю ЗПС. Бічні ліхтарі роз відключаються з однаковим інтервалом не більше 60 м. Бічні ліхтарі повинні блимати по обидва боки PP на лініях, перпендикулярних лінії ЗПС. На перехрестях ЗПС, ЗПС та руліжних доріжок, а також у і Ptsy зчеплення руліжної доріжки з ЗПС, дозволяйте їх вимикати та бачити не більше одного пожежі поспіль. Коли видно вогні злітно-посадкової смуги, інтервали низького та низького рівня блимають у поперечному перерізі та НЕ нормуються. Бічні вогні

ЗПС повинні бути вогнями постійного випромінювання білого кольору, за винятком вогнів:

а) на останніх 600 м або на останній третині ЗПС, у залежності від того, що менше, які повинні випромінювати жовте світло;

б) між початком ЗПС і зміщеним порогом, які повинні випромінювати червоне світло в напрямку ПС, що заходить на посадку.

На ЗПС зі зміщеним порогом перший бічний вогонь червоного кольору встановлюється у початку ЗПС. На необладнаній ЗПС та ЗПС заходу на посадку за приладами при відсутності вогнів наближення на цій ділянці, необхідно до кожного бічного вогню встановлювати додатково по одному вогню поруч з основним вогнем, що випромінює червоне світло тільки в напрямку заходу на посадку.

Відповідно до вимог нормативно-технічного документу [1], п.п. 8.2.2.8-8.2.2.14, вхідні вогні повинні бути передбачені на ЗПС, оснащених бічними вогнями.

Вхідні вогні повинні бути встановлені на лінії, перпендикулярній осі ЗПС, на відстані не більш 3 м до порогу ЗПС. У випадку зміщеного порогу вхідні вогні повинні бути розміщені на лінії, що збігається із зміщеним порогом.

Лінія вхідних вогнів повинна складати:

а) на необладнаній ЗПС і ЗПС неточного заходу на посадку - не менше чим із шести вогнів;

б) на ЗПС точного заходу на посадку I категорії - із такою кількістю вогнів, що буде потрібно при їхньому рівномірному розміщенні між рядами бічних вогнів ЗПС з інтервалами  $3 \pm 0,3$ м;

в) на ЗПС точного заходу на посадку II і III категорії - із вогнів, розташованих між рядами бічних вогнів ЗПС з інтервалами не більш  $3 \pm 0,3$ м.

При цьому зовнішні вогні в усіх випадках повинні бути розміщені на лінії бічних вогнів ЗПС.

Вхідні вогні можуть бути встановлені:

а) з однаковими інтервалами між рядами бічних вогнів ЗПС;

б) двома групами симетрично осі ЗПС з однаковими інтервалами між вогнями в кожній групі й інтервалом між цими групами, що відповідає відстані між знаками денного маркування, або з інтервалом, що складає не більш половини відстані між рядами бічних вогнів ЗПС.

У випадку змішеного порогу на необладнаних ЗПС і ЗПС неточного заходу на посадку вхідні вогні повинні бути встановлені у вигляді двох флангових горизонтів, що розміщуються по обидва боки ЗПС на продовженні лінії змішеного порогу. Кожний фланговий горизонт повинен складатись не менш ніж із п'ятьох вогнів, установлених на лінії довжиною не менше  $10 \pm 1$  м. При цьому найближчі до ЗПС вогні повинні знаходитися на лініях бічних вогнів ЗПС.

В якості вхідних вогнів повинні бути використані вогні, що випромінюють зелене світло в напрямку ПС, що заходить на посадку.

Відповідно до вимог нормативно-технічного документу [1], п.п. 8.2.2.15-8.2.2.18, обмежувальні вогні повинні бути передбачені на ЗПС, оснащених бічними вогнями. Обмежувальні вогні повинні бути розміщені на лінії, що перпендикулярна осі ЗПС, на відстані не більш 3 м із зовнішнього боку кінця ЗПС.

Обмежувальні вогні в кількості не менш шести встановлюються:

а) з однаковими інтервалами між рядами бічних вогнів ЗПС,

або

б) двома групами симетрично осі ЗПС з однаковими інтервалами в кожній групі й інтервалом між цими групами не більш половини відстані між бічними вогнями

На аеродромі „Київ” (Жуляни) з обох магнітних курсів встановлена система візуальної індикації глісади типу RAPI. Система складається з чотирьох двохлампових вогнів з різкими колірним переходом, розміщених

через рівні інтервали. Система розміщена з лівої сторони ЗПС, на відстані 300 м від порогу ЗПС з МК-81° та на відстані 310 м від порогу з МК-261°

З МК-81° в зв'язку зі зміщенням порогу вхідні вогні ЗПС встановлені на відстані 150 м від торця ЗПС. З МК-261° вогні знаходяться на відстані 48 м від торця ЗПС. З обох магнітних курсів встановлені вогні заглибленого типу.

З МК-81° разом із вхідними вогнями на зміщеному порозі, встановлені обмежувальні вогні заглибленого типу, які випромінюють червоне світло у напрямку ПС, що виконує зліт з МК-261°.

Важливою відмінністю в розміщенні бічних вогнів ЗПС є те що, в результаті зміщення порогу з МК-81° на 150 м, крім бічних вогнів жовтого кольору на ділянці 480-600 м, встановлені додатково ще три вогні білого кольору, які зміщують протяжність бічних вогнів ЗПС відповідно до зміщення порогу для виконання операцій зльоту з МК-261°.

На ділянці 0-150 м бічні вогні ЗПС випромінюють червоне світло в напрямку заходу на посадку з МК-81°.

Всі підсистеми укомплектовані вогнями фірми IDMAN.

Бічні вогні ЗПС – надземні універсальні лінзові прожекторні вогні типу IDM 5848 з функцією кругового огляду з джерелами світла потужністю 150 Вт. В місцях перетинання ШЗПС з РД використовуються заглиблені, двонаправлені бічні вогні ЗПС типу IDM 4062, в яких використовується по дві лампи потужністю 105 Вт кожна. Електропостачання кожного бічного вогню ЗПС заглибленого типу здійснюється від одного ізолювального трансформатора потужністю 200,0 ВА.

Вхідні вогні ЗПС з МК<sub>доп.</sub> 81°/261° – надземні прожекторні вогні типу IDM 2982 зеленого кольору і джерелами світла потужністю 150,0 Вт. Вогні розташовані рівномірно впродовж торця ЗПС.. Електропостачання підсистем вхідних вогнів ШЗПС здійснюється по двом окремим кабельним лініям від двох регуляторів яскравості типу IDM 8000.



Обмежувальні вогні ЗПС з МК<sub>пос.</sub> 81°/261° – надземні прожекторні вогні типу IDM 2982 червоного кольору з джерелами світла потужністю 65 Вт. Вогні розташовані впродовж торця ШЗПС між вхідними вогнями ЗПС. Електропостачання підсистеми обмежувальних вогнів ШЗПС здійснюється сумісно з підсистемою бічних вогнів ШЗПС по двом кабельним лініям від двох регулятора яскравості типу IDM 8000 з ТП-1 і ТП-2.

Глісадні вогні ЗПС типу РАРІ з МК<sub>пос.</sub> 81°/261° ° типу IDM 6005-1 с джерелами світла потужністю 200 Вт. Кожен вогонь містить по два джерела світла та дві оптичні системи. Електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС здійснюється по двом кабельним лініям від двох регуляторів яскравості типу IDM 8000.

Розташування підсистем вогнів злітно-посадкової смуги показано на рисунку 1.

→MK-81°→

←MK-261°←

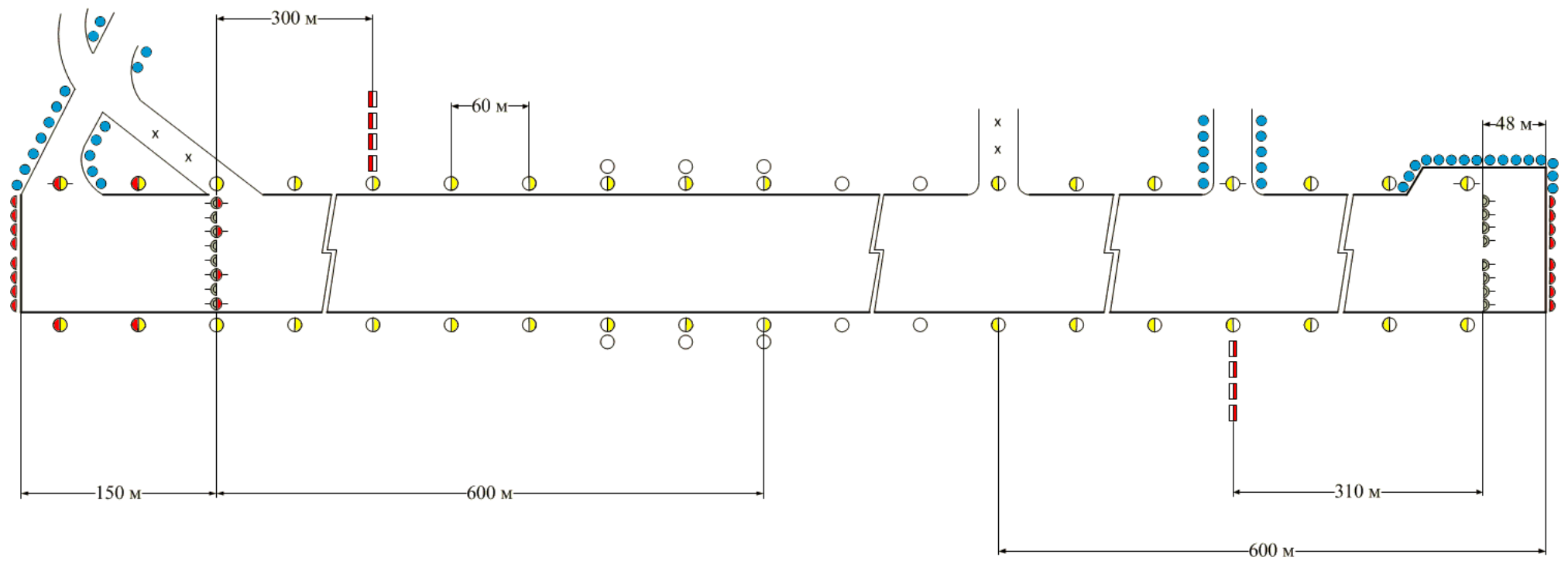


Рис.1 Схема розміщення вогнів на злітно-посадковій смузі

### **2.3. Структура електропостачання підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги**

Відповідно до вимог нормативно-технічного документу [1] для окремих типів вогнів і знаків у зазначених системах допускається:

- застосування джерел електропостачання без стабілізації для вогнів, сила світла яких не нормується або значно (у два-три рази) перевищує необхідну;
- паралельне живлення від мережі 220/380 В для аеродромних світломаяків і вогнів захисту ЗПС;
- спеціальні джерела і схеми електроживлення для імпульсних вогнів наближення і стоп-вогнів.

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

Електропостачання повинно здійснюватися не менше ніж по двох кабельних лініях від двох джерел живлення з рівномірним і симетричним підключенням вогнів високої інтенсивності в наступних підсистемах (для кожного напрямку посадки):

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

Електропостачання підсистеми вогнів ЗПС здійснюється по 6 кабельним лініям. Електропостачання підсистеми глісадних вогнів ЗПС здійснюється по одній кабельній лінії з обох магнітних курсів.

Через зміщений поріг з МК-81 ° додаткові вогні, а саме граничні вогні злітно-посадкової смуги, що вказують на зміщений поріг та бокові вогні злітно-

посадкової смуги (випромінюють жовте світло у напрямку літака) для переміщення 600 м ділянки (для зльоту з МК -261 °), з'єднаних у дві окремі КЛ.

На двох окремих кабельних лініях також підключені обмежувальні вогні злітно-посадкової смуги, що вказують на закінчення злітно-посадкової смуги МК-81 °, а бічні вогні злітно-посадкової смуги (випромінюють біле світло) для зміщенні 600 м ділянки (при посадці МК-81 ° і МК- 261 °).

Залежно від виконання операцій зльоту або посадки, відповідноз якого саме магнітного курсу, перемикаються вогні злітно-посадкової смуги.

На аеродромі Жуляни підсистема електропостачання вогнів злітно-посадкової смуги спроектована таким чином, що під час посадки з МК-81 °, посадки з МК-261 ° та зльоту з МК-81 ° (рис. 2.3 ), Задіяні КЛ1, КЛ2, КЛ3 та КЛ4, не враховуючи КЛ7 та КЛ8 для візуальної індикації.

Для виконання операції зльоту з МК-261 ° підсистема живлення повинна включати КЛ1, КЛ2, КЛ5 і КЛ6. Щоб забезпечити виконання операції зльоту з МК-261 °, диспетчер АДВ повинен перемкнути вогні ССА.

Таблиця 2.2. склад підсистем електропостачання світлосигнальної системи аеродрому

Підсистема електропостачання вогнів ЗПС

№ КЛ	Потужність РЯ, кВА	Група вогнів	Тип вогню	Кількість	магнітний курс
1	15	Вхідні	Заглиблені	16	Обидва
		Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-81°
		Бічні	Надземний кругового огляду	29	-
			Заглиблені	1	
		Вогні площадки для розвороту	Надземний кругового огляду	8	
2	15	Вхідні	Заглиблені	16	Обидва
		Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-81°
		Бічні	Надземний кругового огляду	33	-
			Заглиблені	1	
		Вогні площадки для розвороту	Надземний кругового огляду	8	
3	4	Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	4	
		Бічні вогні на 150 м	Надземний кругового огляду	3	
			Заглиблені	1	

Продовження таблиці 2.2.

4	3	Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	2	
		Бічні вогні на 150 м	Надземний кругового огляду	2	
5	3	Обмежувальні	Заглиблені	4	Зліт мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	2	
6	3	Обмежувальні	Заглиблені	4	Зліт мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	4	
Всього		Вхідні вогні	-	32	-
		Бічні вогні	-	82	-
		Обмежувальні вогні	-	16	-
Підсистема електропостачання глісадних вогнів					
7	3	Глісадні		4	Посадка мК-261°
8	4	Глісадні		4	Посадка мК-81°



Рис.2.1. Схема електропостачання аеродромних вогнів ЗПС у режимі „Посадка” МК-81\*

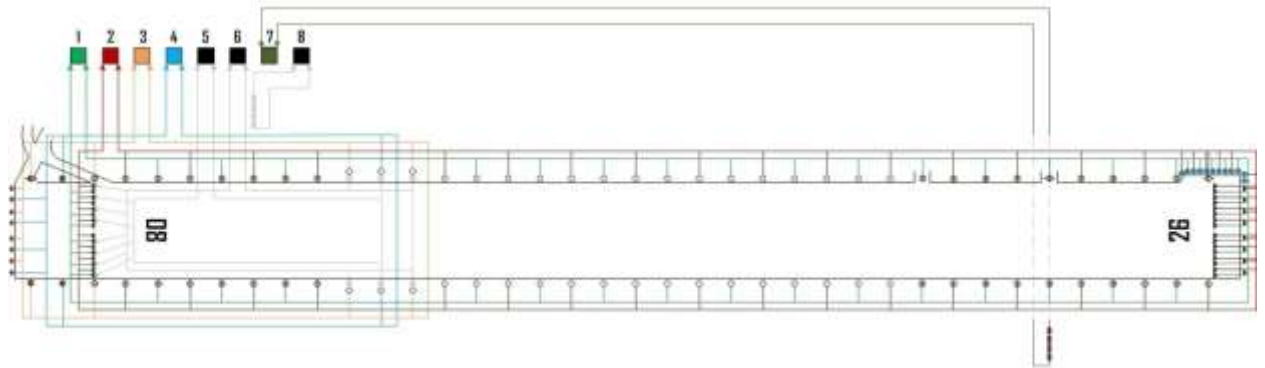


Рис.2.2. Схема електропостачання аеродромних вогнів ЗПС у режимі „Посадка” МК-261\*

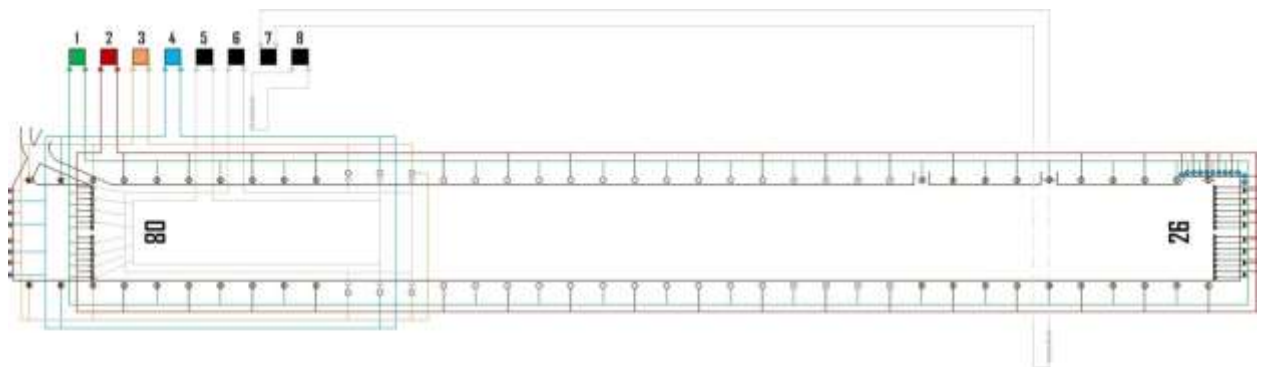


Рис.2.3. Схема електропостачання аеродромних вогнів ЗПС у режимі „Літ” МК-81\*



Рис.2.4. Схема електропостачання аеродромних вогнів ЗПС у режимі „Літ” МК-261\*

## РОЗДІЛ 3

### РЕКОНСТРУКЦІЯ СКЛАДУ, СТРУКТУРИ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СУГИ

#### **3.1. Аналіз нормативно-технічних документів щодо структури, складу, конфігурації підсистеми осьових вогнів ЗПС**

Відповідно до вимог [1], підсистема осьових вогнів ЗПС є обов'язковою у складі ССА, яка розташовується на ЗПС для точного заходу на посадку в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II і III категорій і такою, що рекомендується, для ССА при експлуатаційному мінімумі аеродрому I категорії, особливо у тих випадках, коли ЗПС використовується повітряними суднами з високими посадковими швидкостями (категорія D) або (та) коли відстань між рядами бічних вогнів ЗПС перевищує 50 метрів. Підсистема осьових вогнів ЗПС є, також, обов'язковою, коли ЗПС використовується для зльоту в умовах дальності видимості на ЗПС (RVR) близько 400 метрів, [1].

Рекомендовано встановлювати осьові вогні на ЗПС, яка призначена для виконання злету в умовах, при дальності видимості на ЗПС (RVR) 400 м і більше при її використанні ЗПС категорії D, ти більше якщо відстань між бічними вогнями ЗПС перевищує 50м, [2].

Осьові вогні ЗПС мають бути розташовані від порога до кінця ЗПС, а повздовжні інтервали між окремими вогнями нормуються на рівні 15 метрів, [1,3].

Новим нормативно-технічним документом цивільної авіації України [3], що максимально адаптований до стандартів і рекомендацій ІКАО, [1], дозволяється змінювати подовжні інтервали між окремими осьовими вогнями ЗПС у сторону їх збільшення до 30 метрів, але тільки для ЗПС, польоти на якій виконуються в умовах  $RVR \geq 350$  м.



Потрібно зауважити про існування різниці між двома нормативними документами: ІКАО - [1] та JAR-OPS 1, [4].

Зоднієї сторони, стандарт ІКАО [2], п.5.3.12.5, дозволяє виконання зльоту при нормованому значенні RVR < 350 м, але за умови розташування осьових вогнів ЗПС з інтервалом не більше ніж 15 м.

Проте документ [4], який є вказівним документом для авіакомпаній, згідно Наказу Державіаслужби від 21.06.2006 р., № 137, зареєстрованим мін'юстом 07.03.2006 за № 245/12119, наголошує: «...при розрахунках та застосуванні мінімумів для посадки та зльоту повинні користуватися виключно розділом E JAR-OPS 1 (п.п. 1.430, 1.435, 1.440, 1.445, 1.450, 1.455, 1.460 та додатками 1.430, 1.450, 1.455)»...

Відповідно до вимог документу [4], Table 1 – RVR Visibility for take-off (дальність видимості на ЗПС для зльоту) дальність видимості для зльоту може бути 250/350 м навіть при відсутності осьових вогнів ЗПС за наявності бічних вогнів ЗПС та маркування осьової лінії ЗПС, а також – 200/250 м при наявності бічних вогнів ЗПС та осьових вогнів ЗПС, причому інтервал між осьовими вогнями ЗПС не нормується, тобто може бути і 30 м.

Як виключення до цих вимог, дозволяється подальше зниження дальності видимості на ЗПС для зльоту до 125-150 м, в залежності від категорії Пс, за умови виконання п'яти умов, однією з яких є розташування осьових вогнів ЗПС з інтервалом 15 м. Але, за певних умов, які передбачають дотримання всіх процедур при виконанні польотів при низької видимості (ПНВ), [1], дозволяється зниження дальності видимості на ЗПС для зльоту менше 125-150 м, в залежності від категорії ПС, але не менше 75 м.

Виконання всіх вимог ПНВ потребують певних капітальних та експлуатаційних витрат, тому їх впровадження мають бути науково обґрунтовані виходячи з кліматичної характеристики аеродрому «Київ» (Жуляни), інтенсивності повітряного руху, інших індивідуальних особливостей аеродрому.

Основним критерієм прийняття рішення про впровадження ПНВ має бути економічний критерій, тобто економічна доцільність виконання зльотів та посадок в умовах ПНВ.

Проблема використання спрощеної конфігурації підсистеми осьових вогнів з поздовжніми інтервалами між вогнями до 30 метрів є в тому, що її використання дозволяється тільки за деяких умов, які сформовані у стандартах ІКАО, п.10.4.7, [2] і потребують від системи технічного обслуговування сСА гарантії працездатного стану, як мінімум, 95% осьових вогнів підсистеми у будь який момент часу, при виконанні польотів в умовах експлуатаційного мінімуму II, III категорій.

З метою виключення можливості невірної наведення повітряного судна на вісь ЗПС не дозволяється наявність двох непрацездатних вогнів у підсистемі осьових вогнів ЗПС, [2].

Проаналізувавши дані вимоги, можна зробити висновок, що все зводиться до показників надійності підсистеми осьових вогнів ЗПС, а точніше, про їх нормування для відповідних умов.

Аналіз керівництв нормативно-технічних документів цивільної авіації України, № 3, Стандарт та рекомендована практика ІКАО № 1, 2 для виявлення вогнів злітно-посадкової смуги з інтервалом 30 вентиляційних отворів в робочих умовах для другої категорії .

Позитивним фактором значків стандарту ІКАО [1] є те, що вони чітко формулюють два критерії для працездатних вогнів злітно-посадкової смуги - топологічний та кільковий, що може становити 95% тих, хто не може працювати перед ними не повинно бути двох нижніх вогнів. Тільки після виконання цих двох режимів світло буде працювати. Фари злітно-посадкової смуги Оскільки підсистема, як і всі SSA, є поновлюваною системою, що забезпечує свою працездатну стану для технічного обслуговування SSA

Не має сумніву, що такі вимоги до підсистеми осьових вогнів ЗПС сформульовані у стандартах ІКАО за результатами певних наукових досліджень і мають виконуватись. Хочеться звернути увагу, що дані вимоги щодо розташування осьових вогнів ЗПС з інтервалом 30 м мають відображення і у новому нормативно-технічному документі цивільної авіації України, [3], що доводить їх важливість і актуальність у сучасних умовах, коли спостерігається широке технічне переоснащення аеродромів України світлосигнальним обладнанням.

Для підсистеми осьових вогнів ЗПС, як вже продемонстровано вище, є відсутність у документах [1,2,3], конкретних цифр, які мають визначати імовірність з якою повинен бути забезпечений працездатний стан підсистеми осьових вогнів ЗПС протягом будь-якого проміжку часу.

Обов'язковим є той факт, що підсистема осьових вогнів ЗПС використовується в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому II, III категорії, оскільки такі високі вимоги до її технічного стану справедливі тільки у таких умовах.

Присутність конкретного показника дає можливість визначити об'єктивну можливість виконання умов що до забезпечення працездатного стану підсистеми осьових вогнів ЗПС з врахуванням сучасного рівня їх показника надійності та інструментальних можливостей обслуговуючого персоналу забезпечити працездатний стан підсистеми вогнів.

Не має сумнівів, що показник імовірності, з якою обслуговуючий ССА персонал має забезпечити працездатний стан підсистеми осьових вогнів ЗПС повинен бути таким, що об'єктивно можна реалізувати на практиці з врахуванням сучасного технічного рівню обладнання ССА і технологічних операцій з його обслуговування.

Отже, основна проблема, пов'язана з можливістю і умовами експлуатації підсистеми осьових вогнів ЗПС з інтервалами 30 метрів, потребує вирішення двох основних задач.

Перша задача полягає в нормуванні коефіцієнта готовності підсистеми осьових вогнів ЗПС, а друга – в розрахунку його значення з використанням вихідних даних по надійності окремих її елементів, що входять в склад підсистеми. Ці задачі будуть вирішені в даній роботі, в розділі визначення та оцінки показників надійності підсистем, що підлягають реконструкції.

Врахувавши той факт, що підсистема осьових вогнів ЗПС потребує досить багато коштів для її встановлення і послідуючого технічного обслуговування, варіанти її реконструкції повинні бути розглянуті більш докладно.

Конструкція підсистеми осьових вогнів ЗПС може бути класифікована виходячи з двох основних критеріїв: електричної схеми електропостачання вогнів та поздовжнього інтервалу розташування вогнів. у даному розділі будуть розглядатись та аналізуватись кілька варіантів підсистеми осьових вогнів ЗПС для аеродрому «Київ» (Жуляни).

Варіант розташування осьових вогнів ЗПС з повздовжнім інтервалом 7,5 м не буде розглядається, оскільки майже ніяких переваг перед іншими варіантами він не має та залишається занадто дорогим, на початку його реалізації, так і в майбутніх витратах на технічне обслуговування та ремонт підсистеми. На даний момент цей варіант майже не застосовується в сучасній практиці світлосигнального забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації.

### **3.2. Аналіз нормативно-технічних документів щодо структури, складу, конфігурації підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги зони приземлення**

Підсистема вогнів ЗПС зони приземлення є обов'язковою у складі ССА, яка розташована на ЗПС точного заходу на посадку в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II і III категорій.

Відповідно вимогам національного нормативно-технічного документу [3], стандартів та Рекомендованої практики ІКАО, [1], вогні ЗПС зони приземлення представляють собою однонаправлені лінійні вогнів заглибленого типу (три та більше одиночних вогнів у одному лінійному), які встановлюються двома рядами на ділянці 900 м впродовж ЗПС від її порогу симетрично відносно її вісі. Повздовжній інтервал між окремими лінійними вогнями відповідно вимогам національного нормативно-технічного документу [3], п.8.2.2.23 повинен складати 30 м.

Стандарти і Рекомендована практика ІКАО [1], п.5.3.13.2 дозволяє встановлювати вогні ЗПС зони приземлення з інтервалами, як 30 м так і 60 м, причому інтервали між вогнями 30 м рекомендуються при використанні ЗПС в умовах експлуатаційних мінімумів III категорії, тобто при дальності видимості на ЗПС менше 350 м.

Повздовжній інтервал між лінійними вогнями ЗПС зони приземлення визначає їх загальну кількість і саме в цьому аспекті спостерігається конфлікт у вимогах національних нормативно-технічних документів [3], і стандартів та рекомендацій ІКАО [1]. Як зазначалось раніше, при виникненні розбіжностей у вимогах національних та міжнародних документів, перевага віддається вимогам стандартів та рекомендацій міжнародних документів, а в даному конкретному випадку – ІКАО.

Для вирішення такої ситуації у вимогах національних та міжнародних нормативних документів, [1,4] приведемо конкретні логічні та економічні аргументи на користь вимог стандартів ІКАО щодо інтервалу встановлення вогнів ЗПС зони приземлення.

1. Експлуатаційний мінімум аеродрому «Київ» (Жуляни) в найближчі 10-15 років не планується змінювати до III-A категорії, це означає, що заходи на посадку і посадки не будуть здійснюватись при дальності видимості на ЗПС менше 350 м та висоті прийняття рішення менше 30 м.

При виконанні польотів в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому II категорії використання вогнів ЗПС зони приземлення з інтервалом між вогнями в 60 м є виправданим та не суперечить вимогам стандартів ІКАО, [1].

2. Підсистема вогнів зони приземлення з інтервалом між лінійними вогнями 60 м фактично є прототипом скороченої конфігурації, яка була санкціонована ІКАО за результатами вивчення досвіду багатьох наукових досліджень, які, також, були вивчені і враховані авторами. Слід, також, прийняти до уваги, що підсистема вогнів ЗПС використовується тільки для процедури посадки і ніяким чином не впливає на регулярність польотів на аеродромі при виконанні процедур зльоту.

3. В якості вогнів ЗПС зони приземлення планується встановити нові вогні заглибленого типу з джерелами світла, що мають середнє значення напрацювання до відмови більше 3000 год. Попередні розрахунки показників надійності підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення, що будуть надані в розділі 6 свідчать за те, що рівень надійності підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення гарантовано забезпечить нормований рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування в складних метеорологічних умовах, тому їх фактичне навантажене резервування шляхом встановлення з інтервалом 30 м позитивного ефекту не додає.

4. Прихильники вимог національного нормативно-технічного документу можуть заперечити автору, що використання інтервалу 30 м збільшує надійність та забезпечить польоти ПС у випадку відмови однієї кабельної лінії або регулятора яскравості. Проте, якщо дотримуватись цієї логіки, то бічні вогні ЗПС так само слід встановлювати з інтервалом 30 м з електропостачанням по двом або чотирьом кабельним лініям, тим більш, що

бічні вогні ЗПС використовуються ще і для зльоту, але цього ніхто не пропонує.

### **3.3. Конфігурація підсистеми осьових вогнів злітно-посадкової смуги з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 метрів**

Варіант розташування окремих вогнів в підсистемі з інтервалом 15 м є класичним і використовується у світлосигнальних системах II та III категорій.

До переваг цього варіанту слід віднести наступні аргументи:

1. Забезпечення експлуатаційного мінімуму аеродрому III категорії на етапі візуального пілотування за умови виконання всіх інших вимог щодо процедур низької видимості.

2. Забезпечення експлуатаційного мінімуму аеродрому II категорії на етапі візуального пілотування без урахування жорстких вимог щодо показників надійності підсистеми з боку стандартів та рекомендацій ІКАО.

3. Можливість придбання та встановлення осьових вогнів ЗПС зі середнім значенням сили світла в основному промені не 5000 кд, а 2500 кд за умови, якщо підсистема буде використовуватись тільки при експлуатаційному мінімумі аеродрому II категорії. Типи вогнів з середнім значенням сили світла в основному промені 2500 кд можуть коштувати дешевше, але при відсутності різниці у ціні, розглянутий факт не є перевагою.

4. Можливість розробки та впровадження спеціального алгоритму керування кабельними лініями підсистеми вогнів ЗПС, тобто свідомого включення та відключення однієї з двох кабельних ліній (збільшення інтервалу до 30 м) в залежності від категорії експлуатаційного мінімуму аеродрому за умови збереження кольорового кодування довжини ЗПС осьовими вогнями. Це дасть можливість економії середнього технічного ресурсу джерел світла та електричної енергії.

До недоліків даного варіанту потрібно віднести такі аргументи:

1. Максимальна кількість осьових вогнів ЗПС, кількість ізолювальних трансформаторів, конектори і низьковольтного кабелю, враховуючи максимальну вартість вогнів заглибленого типу в порівнянні з іншими вогнями такий варіант потребує великих грошових витрат на придбання та монтаж осьових вогнів ЗПС.

2. Трудомісткість і вартість технічного обслуговування та ремонту, вартість для ремонту вогнів, джерел світла, також, характеризуються максимальними значеннями в порівнянні з вогнями надземного типу, що приведе не завжди виправданим майбутнім експлуатаційним витратам на технічне обслуговування та ремонт вогнів.

### **3.3.1. Світлотехнічні характеристики осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування 15 м**

Світлотехнічні характеристики осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування 15 м нормуються стандартами ІКАО [1], рис. А2-7, Добавление 2, а з інтервалом 30 м, [2], рис. А2-6, Добавление 2.

Для докладного представлення діаграми ізокандел осьових вогнів ЗПС з інтервалами розташування 30 м та 15 м відповідно, наведені на рис.3.1 та 3.2, а всі вимоги щодо чисельних значень основних світлотехнічних характеристик осьових вогнів ЗПС наведені у таблиці 3.1.



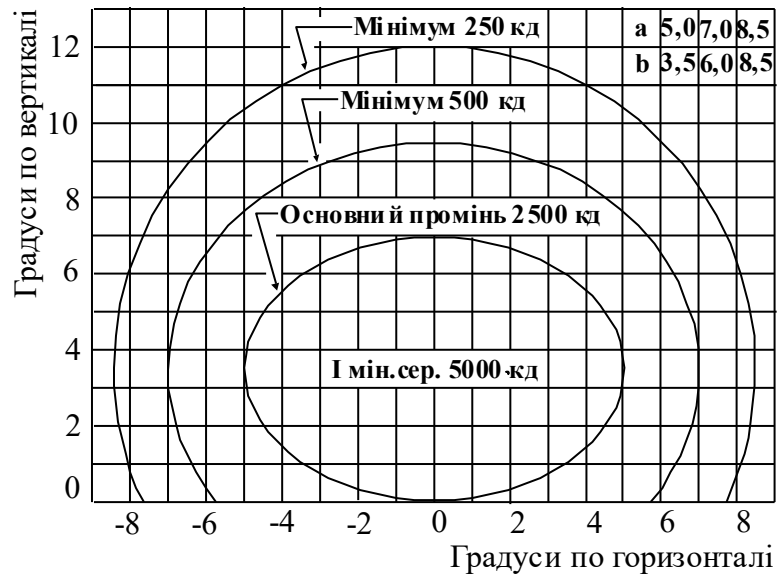


Рис. 3.1. Діаграма ізокандел вогнів осьової лінії ЗПс, розташованих з поздовжнім інтервалом 30 м (вогни білого кольору). Для вогню червоного кольору приведені значення ізокандел потрібно помножити на коеф. 0,15.

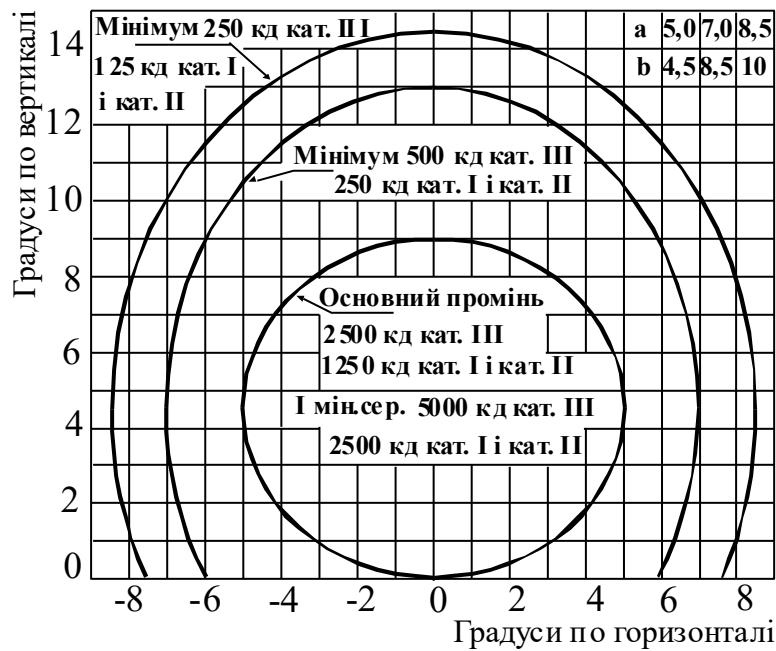


Рис. 3.2. Діаграма ізокандел вогнів осьової лінії ЗПс, розташованих з поздовжнім інтервалом 15 м (вогни білого кольору). Для вогню червоного кольору приведені значення ізокандел потрібно примножити на коеф. 0,15.

Узагальнені вимоги, що пред'являються до технічних характеристик вогнів осьової лінії ЗПс представлені у таблиці 6.1.

Таблиця 3.1. Узагальнені вимоги, щодо технічних характеристик вогнів осьової лінії ЗПс

Найменування технічної характеристики осьового вогню ЗПС	Значення технічної характеристики осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування	
	30 м	15 м
Мінімальне середнє значення сили світла в основному промені (вогні білого кольору), ккд	5,0	5,0 для кат. III 2,5 для кат. I, II
Мінімальне середнє значення сили в основному промені (мінімальна сила світла на контурі першого перетину фотометричного тіла світлосигнального вогню), ккд.	2,5	2,5 для кат. III 1,25 для кат. I, II
Відношення між середнім і мінімальним значенням сили світла в основному промені.	2	
Відношення між середнім і максимальним значенням сили світла в основному промені.	3/2	
Відношення між максимальним і мінімальним значенням сили світла в основному промені.	3	
Мінімальне значення сили світла на контурі другого перетину фотометричного тіла світлосигнального о вогню, ккд.	0,5	0,5 для кат. III 0,25 для кат. I, II

Мінімальне значення сили світла на контурі третього перетину фотометричного тіла світлосигнального вогню, ккд.	0,25	0,25 5 для кат. III 0,125 для кат. I, II
Значення відношення середньої сили світла в межах еліпса, що обкреслює основний світловий пучок нового вогню, до середньої сили світла основного світлового пучка нового бічного вогню ЗПс (вогні білого кольору).	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0 для кат. III 0,25 - 0,5 для кат. I, II
Розміри розрахункових перетинів фотометричного тіла світлосигнального вогню.		
Основний промінь (перший перетин).		
Піввісь a	5,0	5,0
Піввісь b	3,5	4,5
Другий перетин		
Піввісь a	7,0	7,0
Піввісь b	6,0	8,5
Третій перетин		
Піввісь a	8,5	8,8
Піввісь b	8,5	10
Кут сходження, град	0	0
Кут піднесення, град	3,5	4,5
Колір вогню		
Від початку ЗПс до останніх 900 м ЗПс	Білий	
Останні 900...300 м ЗПс	Чергування – червоний/білий	

	або два червоних – два білих
Останні 300 м ЗПС	Червоний

Проаналізувавши технічні характеристики осьових вогнів ЗПС видно, що у якості вогнів осьової лінії ЗПС можна застосовувати три види вогнів, а саме:

1. Осьовий вогонь ЗПС з подовжнім інтервалом 30 м для категорії I та II.
2. Осьовий вогонь ЗПС з подовжнім інтервалом 15 м для категорії I та II.
3. Осьовий вогонь ЗПС з подовжнім інтервалом 15 м для категорії III.

Потрібно лише дізнатись, чи можна застосувати осьовий вогонь ЗПС, розроблений для розташування з подовжнім інтервалом 15 м у підсистемі осьових вогнів ЗПС з подовжнім інтервалом 30м.

Аналіз значень середньої сили світла в основному промені та кутів розсіяння осьових вогнів ЗПС вказує на те, що за своїми світлотехнічними характеристиками тільки вогонь, розроблений для застосування у якості вогню осьової лінії ЗПС з подовжнім інтервалом 15 м для експлуатаційного мінімуму аеродрому III категорії виявляється придатним для застосування у якості вогню осьової лінії ЗПС з подовжнім інтервалом 30 м для експлуатаційного мінімуму аеродрому I і II категорій.

#### **3.4. Реконструкція підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги зони приземлення**

Лінійний вогонь зони посадки на злітно-посадкову смугу (три одиничні ліхтарі в одній лінії) розташовується в районі 900 м від кінця ЗПС із зворотним інтервалом 30 м.

Електроживлення будівельних світильників на двох кабельних лініях від двох регуляторів яскравості. На даний момент ліхтарі злітно-посадочної смуги зони посадки не працюють, оскільки ліхтарі не працюють, а ліхтарі майже в прикордонній зоні.

Одною із основних умов забезпечення експлуатаційного мінімуму аеродрому II категорії є присутність в експлуатації підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення.

Реконструкція підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення полягає у вирішенні наступних задач:

1. Заміні застарілих вогнів заглибленого типу УО-1м-1Б з джерелами світла потужністю 200,0 Вт на нові, більш сучасні вогні з джерелами світла потужністю 45,0-48,0 Вт.

2. Заміні усіх застарілих елементів системи електропостачання підсистеми вогнів зони приземлення – ізолювальних трансформаторів, високовольтного кабелю, регуляторів яскравості – на нові сучасні моделі.

3. Заміні повздовжнього інтервалу між окремими лінійними вогнями ЗПС зони приземлення з 30 м до 60 м.

4. Заміні системи електропостачання підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення.

5. Заміні системи електропостачання одиночних вогнів, які знаходяться у складі лінійних вогнів зони приземлення.

#### **3.4.1. Вогні для підсистеми вогнів ЗПС зони приземлення**

Заглиблені вогні зони приземлення представлені на сьогоднішній день на ринку України такими провідними фірмами виробниками світлосигнального обладнання, як «ADB», «HONEYWELL», «THORN», «O.C.E.M.», «IDMAN» та ін.

При виборі вогнів ЗПС зони приземлення потрібно слідувати того ж принципу, що і при виборі осьових вогнів ЗПС («Ціна/Якість»), тобто враховувати трудомісткість та об'єм технічного обслуговування, вартість, середній термін служби вогню, термін технічної підтримки експлуатації вогню тощо.

Додатково потрібно звернути увагу на потужність джерел світла, які використовуються у вогнях, на їх середній технічній ресурс та на наявність у вогнях спеціального приладу – запобіжника « Fuse-Cutout» - електронне реле короткого замикання багаторазової дії, яке автоматично замикає вторинну обмотку ізолювального трансформатору в разі відмови джерела світла.

Потужність джерела світла у вогню має бути не більше ніж 45,0 – 48,0 Вт, а його середній технічній ресурс – 1500 – 3000 год.

Мінімальна кількість одиночних вогнів у лінійному вогню ЗПС зони приземлення відповідно вимогам [1,2] дорівнює трьом, а поперечний інтервал між одиночними вогнями не більше 1,5 м, при цьому максимальна ширина лінійного вогню не повинна перевищувати 4,5 м, а її мінімальне значення – 3, 0 м.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОДРОМНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

#### 4.1. Вимоги до електропостачання вогнів

Згідно з керівництвом до нормативно-технічного документу [1], наступні типи ліхтарів та знаків у зазначених рекомендаціях дозволяють:

- затухання джерел електроенергії без стабілізації для вогнів, потужність яких нормалізується або значно (у два-три рази) перевищує необхідну;
- паралельне живлення від режиму 220/380 В для аеродромних маяків та ліхтарів для зйомки ZP;
- Спеціальні джерела живлення та джерела живлення для кульових вогнів та верхніх ліхтарів.

У вогні високоефективне живлення оточуючих груп вогнів за призначенням (див.) Повинно здійснюватися вздовж кабельних ліній від найближчих джерел живлення або різних фаз, щоб, коли видно одну з ліній електропередач сигнал моторошно спотворюється, а не спотворює зображення.

Електропостачання має здійснюватися не менше ніж по двох кабельних лініях від двох джерел живлення з рівномірним і симетричним підключенням вогнів високої інтенсивності в наступних підсистемах (для кожного напрямку посадки):

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

## **4.2. Аналіз системи електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 м**

Відповідно до вимог нормативно-технічних документів [1,8] електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС повинно здійснюватись не менше ніж по двом кабельним лініям від двох регуляторів яскравості.

Розглянемо варіанти системи електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС, яка складається з найпопулярніших на даний момент двонаправлених восьмидюймових вогнів, які оснащені двома галогенними лампами з інтерференційними рефлекторами потужністю 48,0 Вт для кожного напрямку посадки та середнім технічним ресурсом 1000-1500 годин. Електропостачання обох ламп може здійснюватись від окремого ізолювального трансформатора, а також, від одного ізолювального трансформатора.

В другому випадку обидві лампи у вогню з'єднуються послідовно з застосуванням спеціального реле «короткого замикання».

Вогні розташовані з інтервалом 15 м, тобто світлосигнальна система здатна забезпечувати посадку повітряного судна в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому I, II, III-A категорії та зліт в умовах дальності видимості на ЗПС до 75-150 м, якщо брати до уваги нормативний документ [4] для експлуатантів ПС (авіакомпаній).

Варіант електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС по чотирьом кабельним лініям – дві кабельні лінії на один напрямок посадки та дві кабельні лінії – на інший напрям посадки із застосуванням двох ізолювальних трансформаторів на один вогонь та чотирьох регуляторів яскравості (або двох регуляторів яскравості з використанням ШВК) не розглядається, тому що він є недоцільним з позиції максимальних початкових витрат на придбання і монтаж обладнання та майбутні витрати на його ремонт та обслуговування.



Загальне електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС здійснюється по двом кабельним лініям від двох регуляторів яскравості, що відповідає вимогам п. 8.2.7.4, [1].

Кольорове кодування осьовимх вогнів 900 м ділянці ЗПС виконано відповідно до вимог п. 8.2.2.21, [1] та 5.3.12.7, [2], тобто на ділянці 900-300 м до кінця ЗПС спостерігається чергування вогнів червоного та білого кольору, а на останніх 300 м до кінця ЗПС осьові вогні випромінюють світло червоного кольору.

Електропостачання кожного вогню осьової лінії ЗПС здійснюється від одного ізолювального трансформатора потужністю 100,0 ВА із застосуванням автоматичного реле «короткого замикання» багаторазової дії (Fuse cutout).

Реле запобігає відключення працездатної лампи у випадку відмови однієї з двох послідовно включених ламп.

Отже, при включенні вогнів злітно-посадкової смуги горіють обидві лапи, однак для виконання технологічних операцій з посадки та зльоту потрібна лише одна нога на стоячій злітно-посадковій смузі, що свідчить про недолік цього джерела живлення злітно-посадкових смуг. Недоліком є непродуктивне розтрата внутрішніх технічних ресурсів джерел Vitla, вартість яких становить 30 0 євро.

Схема підключення вогнів до подвійної кабельної лінії в перетині 900-300 м до кінця ЗПС наведена на рис. 4.1, і поворот відповідає порушенню нормативно-технічних документів [1, 2].

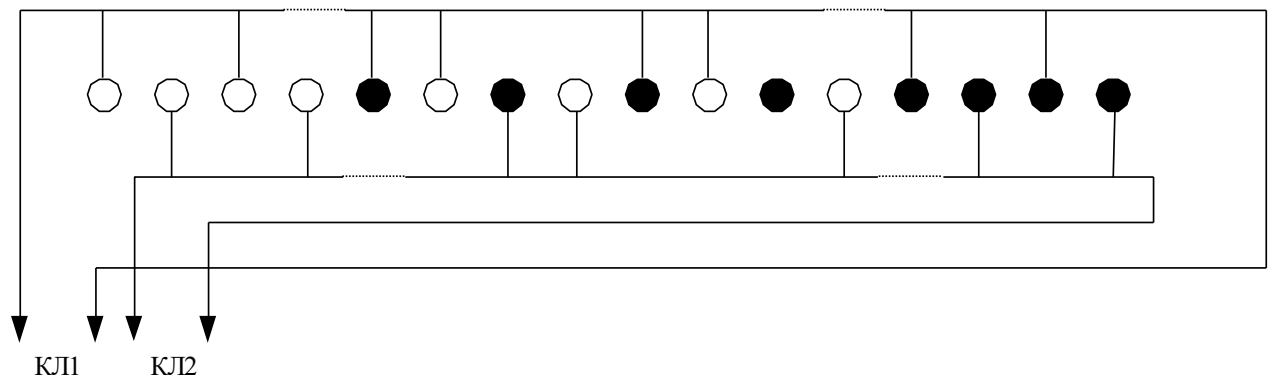


Рис. 4.1. Класична схема електропостачання осьових вогнів ЗПС, з повздовжнім інтервалом 15 м.

Слід зауважити, що представлена схема підключення осьових вогнів ЗПС на ділянці 900-300 м до її кінця відповідає вимогам нормативного документу ІКАО [8], який було затверджено ще у 1984 році та до сьогоднішнього дня його зміст майже не переглядався.

Аналіз даної схеми з позицій надійності підсистеми дозволяє зробити висновок, що, в першу чергу вона знижує надійність підсистеми осьових вогнів ЗПС, а по-друге обмежує можливості використання підсистеми осьових вогнів ЗПС в умовах різних значень дальності видимості на ЗПС. Розглянемо кожний з випадків більш докладно.

Електропостачання окремих підсистем вогнів ССА I-III категорій здійснюється не менш ніж по двом кабельним лініям тільки з позицій надійності, хоча дана вимога на даний час не є науково обґрунтованою та потребує коректувань.

Критерій відмови підсистеми аеродромних вогнів ЗПС розглядається, як ознака або сукупність ознак непрацездатного стану підсистеми осьових вогнів ЗПС та складається з двох критеріїв: топологічного та кількісного, [2].

**Кількісний критерій відмови** визначає максимальну допустиму кількість непрацездатних вогнів у підсистемі осьових вогнів ЗПС та складає 5% і більше від їх загальної кількості при виконанні польотів в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому, як II, III так і I категорій, що зайвий

раз підкреслює важливість підсистеми осьових вогнів ЗПС для експлуатаційних мінімумів будь-яких категорій.

**Топологічний критерій відмови** визначає неприпустимість двох суміжних непрацездатних вогнів у підсистемі осьових вогнів ЗПС.

Аналіз класичної схеми електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС, рис. 4.1, показав, що розглянутий варіант підключення окремих осьових вогнів до двох кабельних ліній призведе до відмови всієї підсистеми вогнів у разі відмови хоча б одної КЛ.

Цей наглядно показано на схемі, що представлено на рис.4.2. На малюнку кабельна лінія підсистеми осьових вогнів ЗПС, що відмовила показана пунктиром.

Використання осьових вогнів ЗПС з подовжнім інтервалом не 15 м, а 30 м дозволено стандартами ІКАО тільки при умові, якщо під час виконання польотів обслуговуючий персонал забезпечить виконання вимог стандартів п. 10.4.7 або 10.4.11, [2], у яких декларується відповідний критерій відмови підсистеми осьових вогнів ЗПС. Для наочності розглянемо вимогу п. 5.3.12.5 стандарту ІКАО, [2].

Ця вимога дозволяє застосовувати підсистему осьових вогнів ЗПС з інтервалом 30 м в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому II категорії для посадки та при дальності видимості на ЗПС для зльоту 350 м і більше за умови забезпечення працездатного стану 95 % (та більше) осьових вогнів ЗПС під час виконання польотів ПС.

З даного пояснення випливає можливість застосування підсистеми осьових вогнів ЗПС у вищеназваних умовах з інтервалом 30 м, тобто при свідомому відключенні (або відмові) тільки однієї з двох кабельних ліній за умови виконання вимог п. 5.3.12.5 стандарту ІКАО, [2] щодо надійності працездатної кабельної лінії.

Аналіз схеми на рис.4.2 показує, що відмова (або свідоме відключення) однієї з кабельних ліній є відмовою підсистеми осьових вогнів ЗПС за обома

критеріями відмови – кількісним і топологічним. Але якщо врахувати дозвіл стандартів ІКАО на використання інтервалів між вогнями 30 м замість 15 м, то відмова підсистеми все одне має місце за топологічним критерієм, адже відстань між суміжними непрацездатними вогнями досягає 45 м.

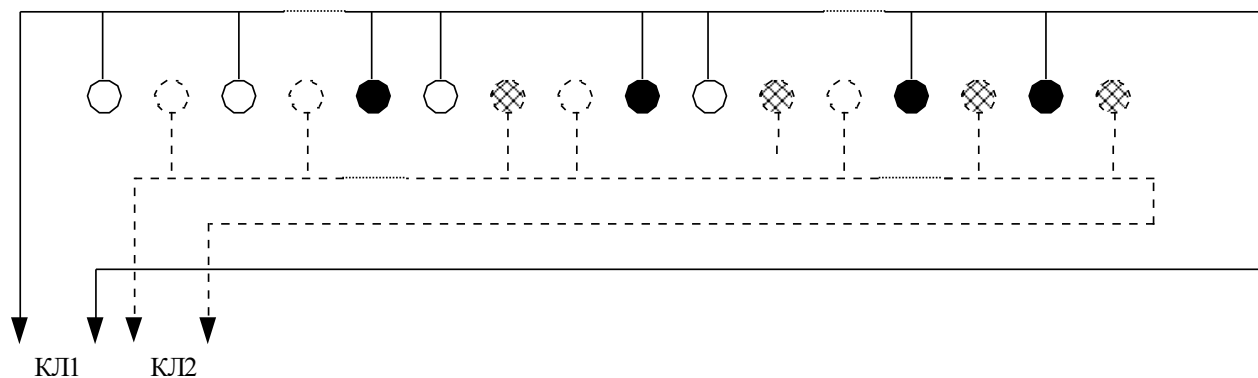


Рис. 4.2. Класична схема електропостачання осьових вогнів ЗПС, що пропонується у нормативно-технічній документації при відмові (або відключенні) однієї кабельної лінії.

Іншим недоліком схеми підключення осьових вогнів ЗПС на ділянці 900-300 м до її кінця рис. 4.2, є неможливість свідомого використання однієї кабельної лінії осьових вогнів ЗПС, як в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому I, так і II категорій про що буде описано далі.

Свідоме включення і використання тільки однієї кабельної лінії осьових вогнів ЗПС забезпечує інтервал між вогнями на рівні 30 м, що дозволено стандартами ІКАО, [2], п. 5.3.12.5, в умовах дальності видимості на ЗПС 350 м та більше, тобто в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II та I категорій.

Свідоме використання в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому I-II категорій тільки по одній кабельній лінії, тобто осьових вогнів ЗПС з інтервалом 30 м, як буде доведено нижче, дозволить підвищити надійність підсистеми осьових вогнів ЗПС.

#### 4.3. Вдосконалена система електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС з поздовжнім інтервалом розташування вогнів 15 м

Вдосконалення з позицій надійності підсистеми електропостачання осьових вогнів ЗПС з інтервалом 15 м полягає в заміні алгоритму підключення вогнів на ділянці 900-300 м до її кінця та не потребує жодних додаткових матеріальних або інших витрат.

Пропозиція, що стосується зміни алгоритму підключення осьових вогнів ЗПС до двох кабельних ліній базується на вимогах національних нормативно-технічних документів, п. 8.2.2.21, [1], яким допускається застосування на ділянці 900-300 м до кінця ЗПС осьових вогнів, що попарно чергуються, випромінюючи біле та червоне світло (два білих вогню та два червоних).

Так би мовити, при використанні двох кабельних ліній осьових вогнів ЗПС з інтервалом 15 м кольорове кодування ділянки 900-300 м до кінця ЗПС буде здійснюватися осьовими вогнями білого та червоного кольору, які попарно чергуються. Покращена схема електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування 15 м показана на рис.6.3.

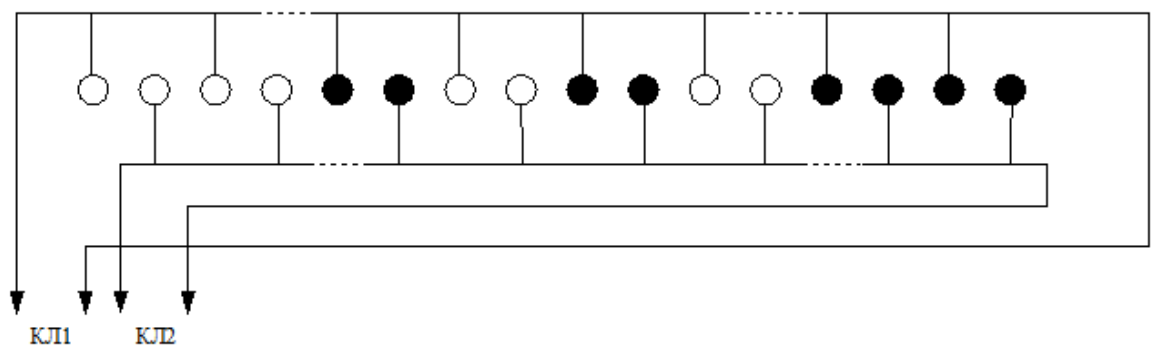


Рис. 4.3. Вдосконалена схема електропостачання осьових вогнів ЗПС з інтервалом розташування 15 м

При відмові однієї з двох кабельних ліній підсистеми осьових вогнів ЗПС працездатний стан підсистеми відбудеться тільки в умовах експлуатаційного мінімуму III-A категорії. Які для аеродрому «Київ» не бувають частішими ніж 3-6% всього часу за рік.

В умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II та I категорії працездатний стан підсистеми осьових вогнів при відмові однієї з двох кабельних ліній буде зберігатись за умови виконання вимог стандартів ІКАО про які вже було сказано вище, п.10.4.7 або 10.4.11, [2].

Світлова картина, яка формується при відмові однієї з двох кабельних ліній осьових вогнів ЗПС показана на рис.6.4. Кабельна лінія, що відмовила показана пунктиром.

Як показано на рис.4.4 при відмові однієї кабельної лінії, інтервал між вогнями збільшується до 30 м, а кольорове кодування на ділянці 900 – 300 м до кінця ЗПС зберігається (чергування червоного та білого кольору) та відповідає вимогам нормативно-технічного документу України [1] та стандартам ІКАО [2].

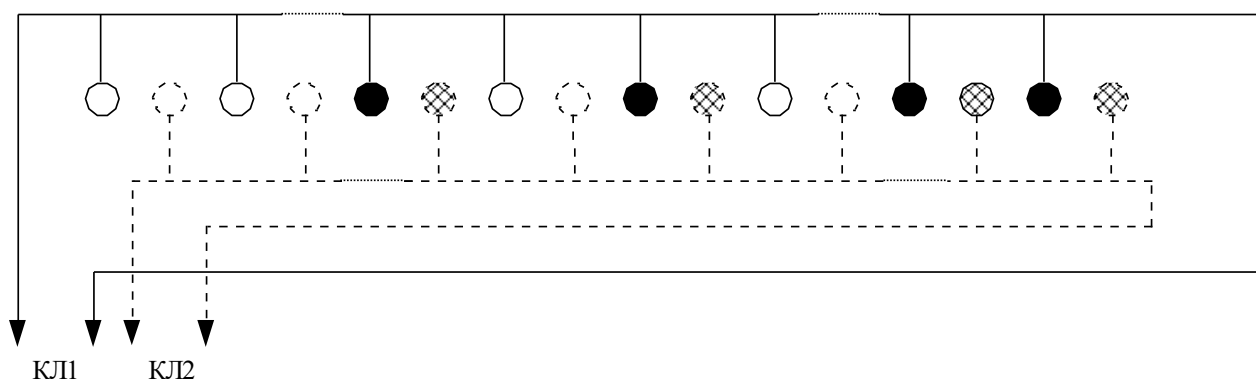


Рис. 4.4. Вдосконалена схема електропостачання осьових вогнів ЗПС при відмові (або відключенні) однієї кабельної лінії.

Вдосконалена схема електропостачання підсистеми осьових вогнів ЗПС не тільки підвищує її надійність, а також дозволяє використовувати тільки одну кабельну лінію з двох в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II

та I категорій, тобто більшу частину часу при якому використовується світлосигнальна система.

Технічне рішення, що пропонується для підсистеми електропостачання осьових вогнів ЗПС з інтервалом 15 м має наступні переваги.

1. З позицій надійності кабельні лінії підсистеми осьових вогнів ЗПС працюватимуть в режимі ненавантаженого резервування, що забезпечить підвищення надійності приблизно на 50% в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II та I категорій, а в умовах експлуатаційного мінімуму III-A категорії буде спостерігатись тільки зниження якості підсистеми осьових вогнів ЗПС, тобто неможливість її використання при експлуатаційному мінімумі аеродрому III-A категорії при збереженні можливості її використання в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II та I категорій.

2. Використання однієї кабельної лінії замість двох в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому II та I категорій дозволяє економити електричну енергію та, що хочеться відмітити, середній технічний ресурс спеціальних джерел світла, які використовуються в осьових вогнях ЗПС і коштують до 30 євро за одиницю.

#### **4.4 Реконструкція системи електропостачання вхідних вогнів злітно-посадкової смуги**

При дослідженні бортових систем сигналізації (SSA) цивільної авіації (GA) в бічних вогнях злітно-посадкового механізму (злітно-посадкової смуги) викоріта універсальної лінзи прожекторного типу, які виконують також функцію кругових вогнів кругового вигляду.

Електроживлення вхідних вогнів злітно-посадкової смуги категорій SSA 1-III доречно для будівництва подвійної кабельної лінії від пожеж злітно-посадкової смуги та прикриттів у полум'ї злітно-посадкової смуги, незважаючи на нормативні акти та технічні документи [1, 2].

До недоліків цього типу електропостачання вхідних вогнів злітно-посадкової смуги слід зазначити, що вони вмикаються незалежно від режиму

роботи ССА - «Злет» або «Їзда» при відповідній нарузі. Коли SSA працює в режимі "Політ", вхідні вогні злітно-посадкової смуги від обох магнітних штор злітно-посадкової смуги називаються непотрібними для пілота, але включаються в перемикач.

При посадці з однієї магнітної головки злітно-посадкової смуги також включаються вхідні ліхтарі з другої магнітної головки, хоча пілоту літака вони не потрібні. В обох випадках втрачається непродуктивне споживання електроенергії (до 10,0 кВт-год на рік) та технічні ресурси джерел Evtla. Як зазначалося вище, дані про пожежу є досить дорогими.

Вищезазначені факти ілюструють прийняте електропостачання вхідних вогнів злітно-посадкової смуги, і вдруге воно було введено в сигнальні вогні дихальних шляхів СА. Логічніше електрично перевернути вхідні вогні злітно-посадкової смуги від під'їзних вогнів та горизонтів Вітловий від кожної магнітної курки злітно-посадкової смуги, що дає ногам переваги.

- коли SSA працює в режимі "Ралі", злітно-посадкові смуги, що входять у вогонь, взагалі не включаються до тих, що мають електричне живлення разом із наближаються пожежами та вітловими горизонтами, які не перемогли в режимі "Ралі".

- при посадці вмикаються лише вхідні вогні злітно-посадкової смуги від потрібної магнітної головки. Ця заборона такої логічної мемм електропостачання вхідних ліхтарів ZP $\zeta$  у  $\zeta$ -день може бути пояснена лише потенціалом зниження показників його надіності.

Відповідно до групи нормативних та технічних документів [3] SSA, в черстві від довжини ближнього світла також є різні аксесуари, таблиця 1.

Таблиця 4.1 Комплектність ССА.

№ п/п	Вид комплектності ССА	Довжина вогнів наближення центрального ряду, м.
----------	-----------------------	--



1	Повна комплектність ССА, (Full facilities)	Від 900 до 720.
2	Проміжна комплектність ССА, (Intermediate facilities)	Від 719 до 420.
3	Базова комплектність ССА, (Basic facilities)	Від 419 до 120.
4	Нульова комплектність ССА (комплектність ССА без вогнів наближення), (Nil approach lights facilities)	Від 119 до 0.

З таблиці 4.1 видно, що ССА може використовуватись взагалі без вогнів наближення і світлових горизонтів, тобто тільки при наявності та працездатному стані вогнів ЗПс. Таким чином, відмова високовольтних кабелів або регуляторів яскравості у підсистемі вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, а тільки переводить її до нульової комплектності, що у свою чергу передбачає підвищення параметрів експлуатаційного мінімуму аеродрому, тобто посадка дозволяється у простих метеорологічних умовах (ПМУ). Виглядає логічним наступний факт – якщо електропостачання вхідних вогнів ЗПс здійснюється сумісно з підсистемами вогнів наближення і світлових горизонтів, то відмова високовольтних кабелів або регуляторів яскравості у підсистемі вогнів наближення і світлових горизонтів автоматично веде до відмови вхідних вогнів ЗПс і відмови ССА в цілому. При стандартній схемі електропостачання вхідних вогнів ЗПс відмова підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, а тільки знижує її якість, дозволяючи використання ССА в ПМУ.

Наведене якісне обґрунтування стандартної схеми електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС виглядає логічним і переконливим, однак, будь-яке якісне обґрунтування має підтверджуватись кількісним обґрунтуванням і тільки тоді воно має право на практичне застосування. Проблема вибору схеми електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС є актуальною для аеродромів України, тому що для більшості аеродромів

починається масова реконструкція світлосигнальних систем типу Вогні малої інтенсивності (ВМП) в ССА типу Вогні високої інтенсивності (ВВІ) I-II категорій, що зменшує параметри експлуатаційного мінімуму аеродрому.

З технічних позицій доцільність і зручність електропостачання підсистем вхідних вогнів ЗПС разом з підсистемами вогнів наближення і світлових горизонтів не викликає сумнівів. Кількісного аналізу потребує надійність обох варіантів системи електропостачання вхідних вогнів ЗПС та її вплив на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування, тобто при застосування ССА.

Задача зводиться до визначення показників надійності ССА при різних варіантах електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС.

Перший варіант – стандартний, електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється разом з бічними та обмежувальними вогнями ЗПС.

Другий варіант – той, що пропонується, електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється разом з підсистемою вогнів наближення і світлових горизонтів з відповідного магнітного курсу ЗПС.

В якості критерію відмови підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів приймається тільки відмова типу «Обрив» високовольтного кабелю або відмова регулятора яскравості, тому що зміна схеми електропостачання вхідних вогнів ЗПС ніяким чином не впливає на інтенсивність відмов джерел світла.

В стандартному варіанті відмова підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, тільки до зниження її якості. Під якістю ССА в даному випадку розуміється ступінь її пристосованості для вирішення поставлених задач, тобто інформаційного забезпечення етапу візуального пілотування. Зниження якості ССА при відмові підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів впливає на параметри експлуатаційного мінімуму аеродрому (висота прийняття рішення та дальність видимості на ЗПС), які підвищуються, що автоматично означає можливість використання ССА в нульовій комплектності тільки в ПМУ.

В іншій версії вигляд підхідних вогнів та горизонтів Вітліана веде до вигляду всієї ССА, той факт, що управління підсвічувальними вогнями злітно-посадкової смуги одночасно розташоване зі світлодіодом підхідних вогнів та горизонтів Вітліана та SSA HE може працювати повністю, навіть при нульовій потужності. Отже, порівнюючи два варіанти, необхідно врахувати умови перемоги ССА: СМУ чи ПМУ.

Ми використовуємо наведену формулу загальної ймовірності для створення театральної моделі надійності ССА:

$$P_{ССА}(t) = \sum_{i=1}^n P_{H_i} \cdot P_{ССА}^{H_i}(t)$$

де:  $P_{H_i}$  - імовірність настання  $i$ -ї гіпотези,  $P_{ССА}^{H_i}(t)$  - імовірність безвідмовної роботи сса за час  $t$  за умови настання  $i$ -ї гіпотези.

Сформулюємо наступні гіпотези:

H1 – складні метеорологічні умови на аеродромі. Імовірність такої гіпотези дорівнює  $P_{H_1} = 0,01 \cdot M$ .

H2 – прості (звичайні) метеорологічні умови. Імовірність такої гіпотези дорівнює  $P_{H_2} = 1 - 0,01 \cdot M$ .

Подія А, яка нас цікавить та має з'явитись під час експерименту з однією з гіпотез є працездатний стан ССА, який залежить тільки від технічного стану високовольтного кабелю та регулятора яскравості підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів. Імовірність даної події за час  $t$  позначимо, як  $P_{ССА}(t)$ , де  $t$  – час між двома технічними обслуговуваннями ССА. Протягом часу  $t$  ССА можна вважати не відновлюваною системою.

Для варіанту І імовірності працездатного стану ССА за час  $t$  за умови реалізації гіпотез H1 і H2 відповідно складають:

$$P_{ССА}^{H_1}(t) = P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t) \quad (1)$$

де  $P_{Наб}(t)$  – імовірність безвідмовної роботи за час  $t$  підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів.

$P_{ЗПС}(t)$  – імовірність безвідмовної роботи за час  $t$  підсистеми вогнів ЗПС.

$$P_{ССА}^{H_2}(t) = P_{ЗПС}(t) \quad (2)$$

Формула (1) означає, що у СМУ, при реалізації гіпотези H1, працездатний стан ССА забезпечується тільки за умови працездатного стану підсистеми вогнів ЗПС та підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів.

Формула (2) показує, що у ПМУ при реалізації гіпотези H2, працездатний стан ССА забезпечується принаймні за умови працездатного стану підсистеми вогнів ЗПС.

Для варіанту II – імовірність працездатного стану ССА за час  $t$  незалежно від метеорологічних умов складає:

$$P_{ССА}^{II}(t) = P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t) \quad (3)$$

Це можна пояснити тим, що відмова будь-якої підсистеми вогнів незалежно від метеорологічних умов аеродрому призводить до відмови всієї ССА.

Підставимо формули (1) і (2) разом з ймовірностями гіпотез у формулу повної імовірності для отримання імовірності безвідмовної роботи ССА за час  $t$   $P_{I\text{ ССА}}(t)$  для варіанту I електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС.

$$P_{ССА}^I(t) = P_{H_1} \cdot P_{ССА}^{H_1}(t) + P_{H_2} \cdot P_{ССА}^{H_2}(t) \quad (4)$$

Підставляючи у формулу (4) усі значення з попередніх формул отримаємо:

$$P_{ССА}^I(t) = \frac{M}{100} \cdot [P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t)] + \frac{100-M}{100} \cdot [P_{ЗПС}(t)] \quad (5)$$

$$P_{ССА}^I(t) = 0,01 \cdot M \cdot P_{ЗПС}(t) \cdot [P_{Наб}(t) + 0,01 \cdot M - 1]$$

Для оцінки покращення в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту візьмемо наступне відношення:

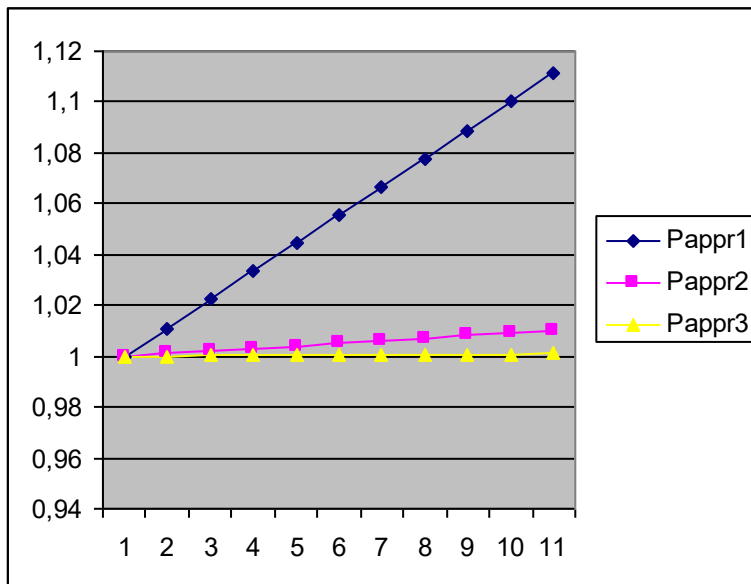
$$\frac{P_{ССА}^I(t)}{P_{ССА}^{II}(t)} = \frac{0,01 \cdot M \cdot P_{ЗПС}(t) \cdot \left[ P_{Наб}(t) + \frac{100}{M} - 1 \right]}{P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t)}$$

$$\frac{P_{ССА}^I(t)}{P_{ССА}^{II}(t)} = \frac{0,01 \cdot M \cdot \left[ P_{Наб}(t) + \frac{100}{M} - 1 \right]}{P_{Наб}(t)} \quad (6)$$

$$\frac{P_{ССА}^I(t)}{P_{ССА}^{II}(t)} = \frac{0,01 \cdot M \cdot P_{Наб}(t) + 1 - 0,01 \cdot M}{P_{Наб}(t)}$$

Для показу істини в даних твердженнях тверджень приводимо графік з Excel, який показує виграш в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту:

M	Pappr1	E1	Pappr2	E2	Pappr3	E3
100		1		1		1
90		1,011111		1,00101		1,0001
80		1,022222		1,00202		1,0002
70		1,033333		1,00303		1,0003
60		1,044444		1,00404		1,0004
50	0,9	1,055556	0,99	1,005051	0,999	1,000501
40		1,066667		1,006061		1,000601
30		1,077778		1,007071		1,000701
20		1,088889		1,008081		1,000801
10		1,1		1,009091		1,000901
0		1,111111		1,010101		1,001001



З графіку видно, що чим вища надійність підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів, тим менше виграш в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту.

#### **4.5. Вдосконалення системи електропостачання аеродромних вогнів злітно-посадкової смуги в світлосигнальних системах аеродрому I-III категорій**

Розглянемо два варіанти схем електропостачання вхідних вогнів ЗПС:

I варіант – електропостачання вхідних вогнів ЗПС, що здійснюється по двох КЛ, від двох РЯ разом з бічними та обмежувальними вогнями ЗПС;

II варіант – електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється по двох окремих КЛ, від двох РЯ окремо від бічних та обмежувальних вогнів ЗПС, як цього вимагають норми, викладені в п. 8.2.7.4 документу [1].

Критерій відмови системи вогнів ЗПС, як кількісний так і топологічний, для обох випадків є ідентичним і складає відповідні відсотки вогнів, що відмовили від загальної кількості.

Відмова підсистеми вогнів ЗПС настає при відмові 5-10% бічних вогнів ЗПС, 15-25 % обмежувальних вогнів ЗПС та 5-10% вхідних вогнів ЗПС залежно від категорії експлуатаційного мінімуму аеродрому. Варто відмітити, що для всіх підсистем вогнів ЗПС допустимий відсоток вогнів, що відмовили, не перевищує 50%.

Цей означає, що технічний стан системи вогнів ЗПС визначається як технічним станом підсистеми вогнів ЗПС, так і технічним станом підсистеми електропостачання вогнів ЗПС, до складу якої входять дві КЛ та два РЯ.

Звідси випливає висновок, що критерії відмови для сучасних ССА I-III категорій стосовно системи вогнів ЗПС, практично однакові, і не дозволяють відмови 50% вогнів кожної з підсистем вогнів ЗПС, а отже не дозволяють і відмови одної КЛ.

Задачу вирішимо в загальному виді без підстановки конкретних цифр щодо показників надійності окремих елементів обладнання ССА.

Надійнісно-функціональна схема (НФС) для підсистеми вогнів ЗПС з I варіантом електропостачання представлена на рис.4.5.

Основні елементи підсистеми електропостачання вогнів ЗПС – РЯ та КЛ вогнів ЗПС логічно, з позицій надійності, включені послідовно, тобто відмова будь-якого з цих елементів веде до відмови підсистеми вогнів ЗПС.

Вхідні, бічні та обмежувальні вогні ЗПС, також, логічно включені послідовно, тому що відмова будь-якої з цих підсистем приводить до відмови підсистеми вогнів ЗПС.

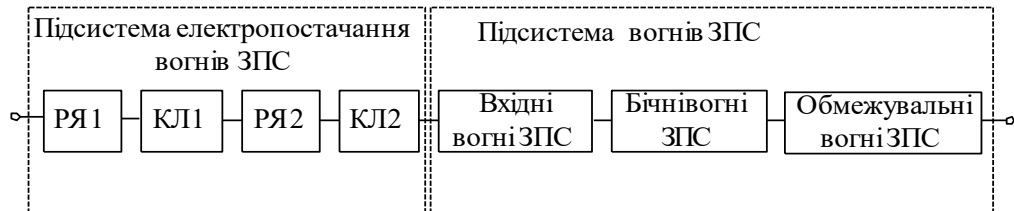


Рис.4.5. Надійнісно-функціональна схема електропостачання підсистеми вогнів ЗПС по двох КЛ

Вважається, що в цьому випадку світлосигнальна картина змінюється настільки, що ЗПС стає непридатною для виконання польотів в складних метеорологічних умовах вдень і вночі.

Ймовірність безвідмовної роботи  $P_{C_1}(t)$ , з електропостачанням за I варіантом (рис.1), визначається за формулою:

$$P_{C_1}(t) = P_{РЯ1}(t) \cdot P_{РЯ2}(t) \cdot P_{КЛ1}(t) \cdot P_{КЛ2}(t) \cdot P_{ПВ ЗПС}(t), \quad (7)$$

де  $P_{РЯ1}(t)$ ,  $P_{РЯ2}(t)$  – ймовірності безвідмовної роботи РЯ1 та РЯ2 за час  $t$ ;

$P_{КЛ1}(t)$ ,  $P_{КЛ2}(t)$  – ймовірності безвідмовної роботи КЛ1 та КЛ2 за час  $t$ ;

$P_{ПВ ЗПС}(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи підсистеми вогнів ЗПС за час  $t$ .

Враховуючи той факт, що показники надійності елементів обох КЛ ідентичні, перепишемо формулу (1) у наступному вигляді

$$P_{C_1}(t) = P_{РЯ}^2(t) \cdot P_{КЛ}^2(t) \cdot P_{ПВЗПС}(t). \quad (8)$$

Розглянемо II варіант електропостачання вхідних вогнів ЗПС по двом окремим КЛ від двох окремих РЯ; його НФС представлена на рис. 4.6.



Всі елементи підсистеми електропостачання системи вогнів ЗПС, також, включені послідовно, тобто відмова системи вогнів ЗПС наступить при відмові будь-якого елемента підсистеми електропостачання або певного відсотка вогнів в підсистемі вогнів ЗПС.



Рис. 4.6. Надійнісно-функціональна схема електропостачання підсистеми вогнів ЗПС з електропостачанням вхідних вогнів ЗПС по двох окремих КЛ.

Ймовірність безвідмовної роботи системи вогнів ЗПС  $P_{C_{II}}(t)$  за час  $t$ , з електропостачанням за II варіантом (рис. 4.6), визначається за формулою:

$$P_{C_{II}}(t) = P_{РЯ1}^2(t) \cdot P_{КЛ1}^2(t) \cdot P_{РЯ3}(t) \cdot P_{РЯ4}(t) \cdot P_{КЛ3}(t) \cdot P_{КЛ4}(t) P_{ПВЗПС}(t), \quad (9)$$

де  $P_{РЯ3}(t)$ ,  $P_{РЯ4}(t)$  – ймовірності безвідмовної роботи РЯ3 та РЯ4 за час  $t$ ;

$P_{КЛ3}(t)$ ,  $P_{КЛ4}(t)$  – ймовірності безвідмовної роботи КЛ3 та КЛ4 за час  $t$ .

З урахуванням ідентичності показників надійності КЛ, вираз (9) перепишемо у вигляді

$$P_{C_{II}}(t) = P_{РЯ}^4(t) \cdot P_{КЛ}^4(t) \cdot P_{ПВЗПС}(t). \quad (10)$$

Для визначення виразу у надійності при електропостачанні вхідних вогнів ЗПС по двох окремих КЛ, знайдемо співвідношення між ймовірностями безвідмовної роботи за час  $t$  за I варіантом (формула 8) та за II варіантом (формула (10))

$$P_{C_I}(t) = \frac{P_{C_{II}}(t)}{P_{РЯ}^2(t) \cdot P_{КЛ}^2(t)}. \quad (11)$$

Аналітичний вираз (11) наглядно показує, що при електропостачанні вхідних вогнів ЗПС за II варіантом показник надійності системи вогнів ЗПС менше ніж при їх електропостачанні за I варіантом, тобто виконання вимог НТД щодо електропостачання вхідних вогнів ЗПС для ССА II, III категорій призводить до зниження надійності системи вогнів ЗПС.

Ступінь зниження надійності системи вогнів ЗПС, що показано у формулі(11), визначається надійністю елементів системи електропостачання – РЯ та КЛ. Сучасні РЯ мають високі значення показників безвідмовності – середнє значення напрацювання між відмовами складає  $50 \cdot 10^3$  годин, а для високовольтного кабелю з ізолювальними трансформаторами середнє значення напрацювання між відмовами типу „обрив” складає  $15 \cdot 10^4$  годин.

При таких високих значеннях показників надійності РЯ та КЛ знаменник в формулі (11) прагне до одиниці, тобто наявність двох додаткових КЛ та РЯ, практично не впливає на надійність системи вогнів ЗПС. Дана умова справедлива тільки для нових ССА з високими значеннями показників надійності елементів систем їх електропостачання. Для ССА, які перебувають в експлуатації більше 15 років, електропостачання вхідних вогнів ЗПС по окремих КЛ знижує надійність системи вогнів ЗПС тим більше, чим менша надійність КЛ та РЯ.

Економія електричної енергії та середнього технічного ресурсу ламп розжарювання виправдовують систему окремого електропостачання вхідних вогнів ЗПС, але за допомогою сучасних засобів індивідуального керування та контролю (Single Lamp Control and Monitoring System + Addressable Switch Device – «SLCMS + ASD») кожного вогню можна відключити вхідні вогнів ЗПС, якщо вони не потрібні, та додатково отримати можливість автоматичного контролю технічного стану кожного вхідного вогню, що особливо актуально для ССА II та III категорій. Таким чином, вимога, що міститься у НТД [1, 2] щодо окремого електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС сСА II, III категорій є необґрунтованою і має бути скасована.

#### **4.6. Розрахунок потужності кабельних ліній**

Для визначення потужності кабельної лінії підсистем аеродромних вогнів розроблена спеціальна методика.

Електрична потужність кабельних ліній визначається, щоб правильно вибрати регулятор яскравості, який використовуються у системі

електропостачання 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 2.2.

Номінальне діюче значення струму кабельної лінії приймається рівним 6,6 А. Сполучний високовольтний кабель типу ХХХ, 1×6,5 кВ, перетином 6,0 мм<sup>2</sup> погонним активним опором 3,08 Ом/км.

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;

$\eta$  – 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  $\Delta U_r$  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 3,08 Ом/км;

$l$  – довжина кабелю, км.

Втрати напруги  $\Delta U_L$  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  $\Delta U_L$  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  $\mu_0$  – 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  $\mu_0$  у формулу для визначення індуктивності кабельної лінії остаточно отримуємо 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:

$$S_{\text{ря}} = U_{\text{кл}} \cdot I_{\text{кл}},$$

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

Вихідні дані для визначення потужності кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів та вибору регуляторів яскравості представлені у таблиці 4.3.

В розрахунках використовані технічні характеристики високовольтного кабелю з мідними жилами перетином  $6,0 \text{ мм}^2$  погонним активним опором  $3,08 \text{ Ом/км}$  та ізолювальні трансформатори типу КР з відповідними номінальними потужностями, номінальним первинним струмом  $6,6 \text{ А}$  та номінальним вторинним струмом  $6,6 \text{ А}$ .

Коефіцієнт корисної дії та еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювальних трансформаторів для номінального режиму прийнятий відповідно:  $0,9$  та  $0,97$ .

В результаті розрахунків визначається мінімальне значення потужності регулятора яскравості для електропостачання відповідної кабельної лінії.

Вибір конкретного регулятора яскравості певної номінальної потужності та узгодження його по потужності з кабельною лінією за допомогою відгалужень силового трансформатора буде проведено після вибору фірми виробника світлосигнального обладнання на етапі підготовки комплекту технічної документації по вводу в експлуатацію світлосигнальної системи.

Таблиця 4.2. склад підсистем електропостачання світлосигнальної системи аеродрому.

Підсистема електропостачання вогнів ЗПС

№ КЛ	Потужність РЯ, кВА	Група вогнів	Тип вогню	Кількість	магнітний курс	
1	15	Вхідні	Заглиблені	16	Обидва	
		Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-81°	
		Бічні	Надземний кругового огляду	29	-	
			Заглиблені	1		
		Вогні площадки для розвороту	Надземний кругового огляду	8		
2	15	Вхідні	Заглиблені	16		Обидва
		Обмежувальні	Надземний прожекторний	4		Посадка мК-81°
		Бічні	Надземний кругового огляду	33	-	
			Заглиблені	1		
		Вогні площадки для розвороту	Надземний кругового огляду	8		
3	4	Обмежувальні	Надземний прожекторний	4		Посадка мК-261°
		Здвоенні	Надземний кругового огляду	4		
		Бічні вогні на 150 м	Надземний кругового огляду	3		
			Заглиблені	1		

4	3	Обмежувальні	Надземний прожекторний	4	Посадка мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	2	
		Бічні вогні на 150 м	Надземний кругового огляду	2	
5	3	Обмежувальні	Заглиблені	4	Зліт мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	2	
6	3	Обмежувальні	Заглиблені	4	Зліт мК-261°
		Здвоєнні	Надземний кругового огляду	4	
Всього		Вхідні вогні	-	32	-
		Бічні вогні	-	82	-
		Обмежувальні вогні	-	16	-

Таблиця 4.3 Результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистеми вогнів злітно-посадкової смуги.

п/п	Вихідні дані та результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистеми злітно-посадкової смуги	Підсистема вогнів ЗПС, фідер № 1, 2
1.	Довжина кабельної лінії, м	5300
2.	Кількість вогнів потужністю 150Вт, шт.	65
3.	Номінальна потужність вогнів, Вт	150
4.	Радіус жили кабелю, м	0,001382
5.	Номінальний струм кабельної лінії, А	6,6
6.	ККД ізолювального трансформатора 150,0 ВА	0,9
7.	Коефіцієнт потужності ізолюючого трансформатора	0,97
8.	Погонний активний опір кабелю, Ом/м	0,00308
9.	Індуктивність кабелю, Гн	0,0157
10.	Індуктивний опір кабелю, Ом	4,9436
11.	Напруга на ізолювальному трансформаторі 150,0 ВА, В	26,033



12.	Утрати напруги на активному опорі кабелю, В	107,738
13.	Утрати напруги на індуктивному опорі кабелю, В	32,627
14.	Вихідна напруга регулятора яскравості, В	1800,213
15.	Потужність регулятора яскравості, з 10% запасом, ВА	13069,55

Для електропостачання кабельних ліній у підсистемах вогнів злітно-посадкової смуги застосуємо два регулятори яскравості номінальної потужності не менше 14,0 кВА.