

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

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
В.П. Квасніков  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»**

**Тема: Реконструкція підсистеми вогнів наближення до злітно-посадкової  
смуги аеродрому «Рівне»**

Виконавець

студент групи ЕЕ-416  
Юрченко Олександр Миколайович

Керівник

кандидат технічних наук, доцент  
Ванецян Сергій Георкович

Нормоконтролер

кандидат технічних наук  
Катаєва Марія Олександрівна

Київ 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Квасніков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Юрченко Олександр Миколайович

(П.І.Б. випускника)

1. Тема проекту Реконструкція підсистеми вогнів наближення до злітно-посадкової смуги аеродрому «Рівне»

затверджена наказом ректора від «29» квітня 2021 року № 686/ст

2. Термін виконання проекту: з 10. 05. 2021 по 14. 06 2021;

3. Вихідні дані до проекту: Підсистема вогнів наближення до ЗПС аеродрому «Рівне»;

4. Зміст пояснювальної записки: Розробити конфігурацію підсистеми вогнів наближення до ЗПС аеродрому «Рівне»;

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Креслення, таблиці, рисунки;

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	10.05-15.05	
2.	Розділ 1. Структура, конфігурація та склад підсистеми вогнів наближення	16.05-23.05	
3.	Розділ 2. Реконструкція підсистеми вогнів наближення сса «рівне»	24.05-28.05	
4.	Розділ 3. Опис та розрахунок показників надійності	29.05-05.05	
5.	Розділ 4. специфікація електро-світлосигнального обладнання	06.05-09.05	
6.	Розробка креслень	10.05-14.05	

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

Керівник дипломної роботи (проекту) \_\_\_\_\_ С. Г. Ванецян  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ О. М. Юрченко  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Зміст містить 55 сторінок, 2 креслень, 4 рисунки, 10 таблиць, 11 літературних джерел.

**Об'єктом дослідження** є підсистема вогнів наближення до ЗПС аеродрому «Рівне», яка розглядається, як об'єкт реконструкції з метою забезпечення експлуатаційного мінімуму аеродрому I категорії.

**Метою дослідження** є розробка та наукове обґрунтування комплектності, конфігурації, складу реконструкції світлосигнальної системи аеродрому «Рівне» з урахуванням його індивідуальних особливостей.

Технічний звіт містить аналіз світлосигнального обладнання аеродрому «Рівне», обґрунтування необхідності його реконструкції та основні науково - обґрунтовані принципи проведення реконструкції підсистеми вогнів наближення до злітно посадкової смуги, системи її електропостачання.

В технічному звіті розглянуті основні принципи і задачі реконструкції підсистеми вогнів наближення до злітно посадкової смуги з урахуванням вимог нормативно-технічних документів цивільної авіації України та стандартів і рекомендацій ІКАО.

Запропоновані варіанти конфігурації підсистеми вогнів наближення до злітно посадкової смуги, їх склад та основні технічні характеристики розроблені відповідно останнім стандартам та рекомендаціям ІКАО, мають під собою строге наукове обґрунтування та підтверджуються відповідними розрахунками.

Усі пропозиції стосовно конфігурації, складу, комплектності вогнів наближення до злітно посадкової смуги ілюструються відповідними кресленнями, які фактично можуть бути використані для монтажу обладнання.

У тих випадках, коли виникало протиріччя між вітчизняними та міжнародними документами, пріоритет віддавався міжнародним документам, тому, що аеропорт «Рівне» має статус міжнародного аеропорту.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 СТРУКТУРА, КОНФІГУРАЦІЯ ТА СКЛАД ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ.....	7
1.1. Призначення, СТРУКТУРА ТА СКЛАД ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ.....	7
1.1.1. Призначення .....	7
1.1.2. Аналіз злітно-посадкової смуги.....	7
1.1.3. Структура вогнів наближення світлосигнальної системи аеродрому .....	8
1.2. КОНФІГУРАЦІЯ ТА СКЛАД ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ ТА СВІТЛОВИХ ГОРИЗОНТІВ З ОБОХ НАПРЯМКІВ ПОСАДКИ .....	10
РОЗДІЛ 2 РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ ССА «РІВНЕ» .....	14
2.1. СПРОЩЕНА КОНФІГУРАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ .....	14
2.1.1. Загальна характеристика проблеми спрощення конфігурацій підсистем авіаційних вогнів .....	14
2.1.2. Структура підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів з обох напрямків посадки за спрощеною схемою Калверта. ....	20
2.2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ ЗЛІТНО- ПОСАДКОВОЇ СМУГИ У СКЛАДІ ССА РІВНЕ.....	23
2.2.1. Загальні принципи електропостачання.....	23
2.2.2. Обґрунтування вибору кількості регуляторів яскравості та розробка схеми електропостачання .....	23
2.2.3. Розрахунок потужності кабельної лінії.....	25
РОЗДІЛ 3 ОПИС ТА РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	31
3.1. ОПИС ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	31
3.2. НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ ДО ЗПС	33
3.3. РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	45
РОЗДІЛ 4 СПЕЦИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРО-СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	55

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ТЕРМІНІВ

**Аеродром** - спеціально підготовлена земельна ділянка або ділянка водної поверхні, зі спорудами й обладнанням, призначеного для повного чи часткового прибуття, відправки і руху по цій поверхності повітряних суден (забезпечують зліт, посадку, розміщення і обслуговування повітряних суден).

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

**Реконструкція** - Перебудова введених в експлуатацію в установленому порядку об'єктів будівництва яка передбачає удосконалення виробництва, підвищення його техніко економічного рівня та якості продукції що виготовляється а саме заміна старого обладнання, що перебуває в експлуатації, новим обладнанням з кращими технічними характеристиками, виробництва провідних закордонних фірм-виробників світлосигнального обладнання для аеродромів цивільної авіації.

**Злітно посадкова смуга (ЗПС)** - прямокутна ділянка сухопутного аеродрому, підготовлена для посадки та зльоту повітряного судна.

**Дальність видимості на ЗПС (RVR)** – Відстань в межах якої пілот повітряного судна, що знаходиться на осьовій лінії ЗПС може бачити знаки маркування на поверхності ЗПС або світлосигнальний вогонь.

**Абсолютна висота прийняття рішення (АН) або відносна висота прийняття рішення (ДН)** - визначена абсолютна або відносна висота при точному заході на посадку або при заході на посадку з вертикальним наведенням, на якій повинна бути розпочата процедура відходу на друге коло за відсутності візуального контакту з орієнтирами або злітно посадковою смугою.

**Регулятор яскравості (РЯ)** - пристрій, що дозволяє плавно або східчасто регулювати струм в кабельній лінії.

**Кабельна лінія (КЛ)** - лінія для передавання електричної енергії. В склад кабельної лінії входить: кабель, ізолювальні трансформатори та регулятор яскравості.

## ВСТУП

Достатня кількість світлосигнальних систем аеродромів (ССА) цивільної авіації України експлуатується за межами гарантованого терміну служби, що негативно відображається на рівнях безпеки і регулярності польотів на етапах візуального пілотування особливо в складних метеорологічних умовах (СМУ).

Світлосигнальна система аеродрому «Рівне» в даному випадку не є виключенням а саме морально та фізично застаріла, всі елементи, що входять до складу світлосигнальної системи знято з виробництва тому керівництвом аеропорту «Рівне» прийнято рішення про реконструкцію ССА.

Під реконструкцією або модернізацією розуміється заміна старого обладнання ССА, що перебуває в експлуатації, новим обладнанням з кращими технічними характеристиками, виробництва провідних закордонних фірм-виробників світлосигнального обладнання для аеродромів цивільної авіації.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес на етапі візуального пілотування під час руління, зльоту, заходу на посадку та посадки ПС.

**Метою дослідження** є розробка та наукове обґрунтування класу, конфігурації, складу для подальшої реконструкції підсистеми вогнів наближення до ЗПС аеродрому «Рівне» з урахуванням його індивідуальних особливостей.

**Предмет дослідження** – це світлосигнальна підсистема аеродрому «Рівне», яка розглядається, як об'єкт реконструкції з метою забезпечення експлуатаційного мінімуму аеродрому I категорії.

В результаті реконструкції світлосигнальна система повинна забезпечувати експлуатаційний мінімум аеродрому I категорії. Таким чином, основна проблема, що має бути вирішена на даному етапі реконструкції, полягає в науковому обґрунтуванні класу, конфігурації, складу з урахуванням індивідуальних особливостей аеродрому «Рівне».

В роботі обґрунтовано клас ССА з обох напрямків посадки, конфігурація та склад обладнання ССА. Наукове обґрунтування всіх технічних параметрів ССА проводилось з урахуванням стандартів та рекомендацій ІКАО, нормативно-технічних документів ЦА України.

## РОЗДІЛ 1

### СТРУКТУРА, КОНФІГУРАЦІЯ ТА СКЛАД ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ

#### 1.1. Призначення, структура та склад підсистеми вогнів наближення

##### 1.1.1. Призначення

Підсистема вогнів наближення до ССА призначена для створення первинного візуального контакту ПС з наземними орієнтирами при заході на посадку ПС і використовується в денний та нічний час. В денний час підсистема вогнів наближення використовується для створення візуального контакту з наземними орієнтирами за умов яскравого фону. Тобто пілоту потрібно встановити надійний візуальний контакт з ЗПС як в день так і вночі.

В якості вогнів наближення і світлового горизонту повинні бути використані вогні постійного випромінювання білого кольору одинарні або лінійні шириною не менше 3 м. Допускається застосування вогнів червоного або жовтого кольору для схеми з одинарними вогнями наближення.

##### 1.1.2. Аналіз злітно-посадкової смуги

Довжина штучної злітно-посадкової смуги (ШЗПС) складає 2626 м при її ширині 42 м з обох напрямків посадки з МКпос.-115°/295°. Площадка розвороту на ЗПС використовується з МКпос.-115°. Виходячи з умов землевідводу, аеродром «Рівне» має в своєму розпорядженні ділянки з обох напрямків посадки довжиною 900 м для розташування підсистем вогнів наближення та світлових горизонтів. Таким чином, з урахуванням об'єктивних факторів, фізично, довжина підсистеми

вогнів наближення та світлових горизонтів з МКпос.-115°/295° може складати 900 м від обох торців ШЗПС.

### 1.1.3. Структура вогнів наближення світлосигнальної системи аеродрому

Структура та склад підсистеми вогнів наближення ССА аеродрому «Рівне» планується виходячи з вимог забезпечення нею точного заходу на посадку на етапі візуального пілотування в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому I категорії з МКпос.-115° з параметрами експлуатаційного мінімуму аеродрому (висота прийняття рішення (DH) не менше 60 м та дальність видимості на ЗПС (RVR) не менше 550 м.) та неточного заходу на посадку з МКпос.-295° з параметрами експлуатаційного мінімуму аеродрому (мінімальною висотою зниження (MDH) та дальністю видимості на ЗПС (RVR) в залежності від категорії повітряного судна, що визначаються таблицею 1.1.

Таблиця 1.1

Значення параметрів експлуатаційних мінімумів аеродрому для неточного заходу на посадку ПС різних класів при використанні повного класу ССА типу ВВІ-I.

Мінімальна висота зниження MDH, м, (ft)	Дальність видимості на ЗПС (RVR), м. За повного класу ССА типу ВВІ-I			
	Клас повітряного судна			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
137-197 (450-649)	900	1000	1000	1400
198 (650) та більше	1000	1200	1200	1600
100-136 (300-449)	1200	1400	1400	1800



Клас ССА визначається в залежності від довжини підсистеми вогнів наближення, виходячи з умов землевідводу ми приймаємо повний клас вогнів наближення довжиною 900 метрів, як вимагають стандарти ІКАО [1].

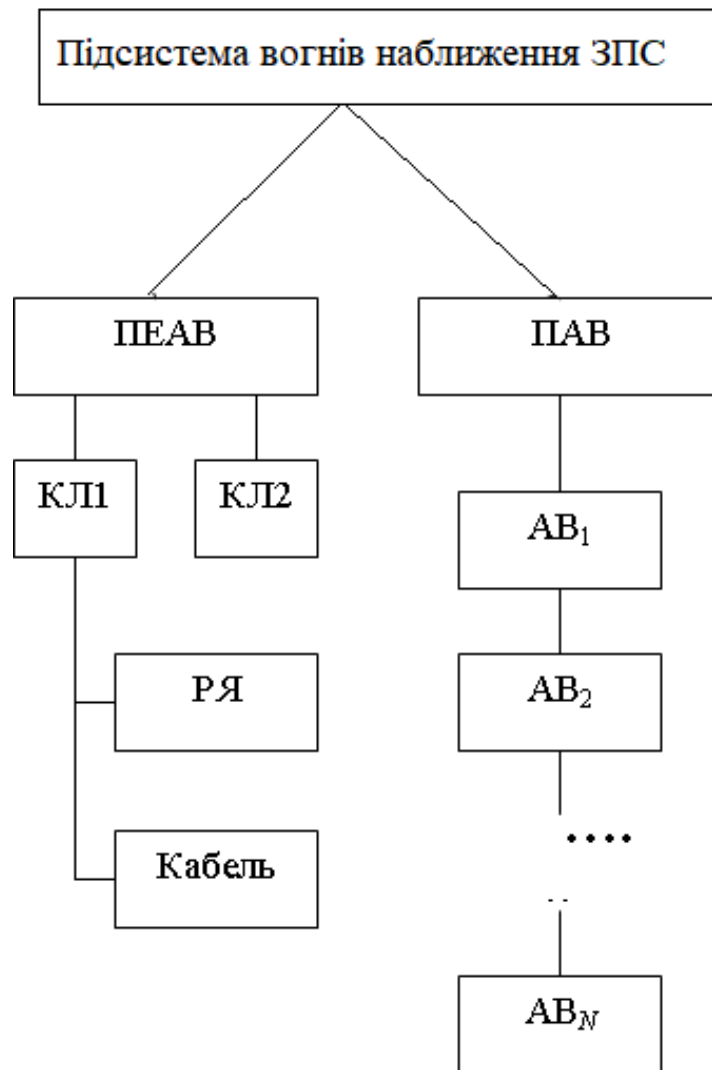


Рис. 1.1. Загальна структурна схема підсистеми вогнів наближення ССА I категорії.

Як видно з рис. 1.1. підсистема вогнів наближення до ЗПС складається з підсистеми авіаційних вогнів (ПАВ) та підсистеми електропостачання авіаційних вогнів (ПЕАВ). До складу підсистеми аеродромних вогнів входять світлосигнальні вогні певного функціонального призначення з нормованими значеннями технічних характеристик. В підсистему електропостачання аеродромних вогнів входить, як мінімум, дві кабельні лінії до складу яких входять регулятори яскравості, високовольтний кабель та ізолювальні трансформатори.

## 1.2. Конфігурація та склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів з обох напрямків посадки

Розглянуто та запропоновано декілька варіантів схем розташування аеродромних вогнів для підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів:

1. Стандартна схема розташування вогнів наближення до ЗПС по центральному ряду з кодуванням відстані та з п'ятьма світловими горизонтами (схема Калверта).

Склад підсистеми вогнів наближення по центральному ряду з кодуванням відстані та п'ятьма світловими горизонтами за стандартною схемою Калверта ілюструється таблицею. 1.2 та рисунок 1.2. Для зручності користування в таблиці представлені і елементи системи електропостачання аеродромних вогнів. Схема (план) розташування відповідних аеродромних вогнів ілюструється кресленням 1 (додаток).

Таблиця 1.2

Склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів за стандартною схемою розташування Калверта.

№	Найменування елементів обладнання світлосигнальної системи аеродрому	Кількість
1	Надземний прожекторний вогонь наближення високої інтенсивності в зборі, колір випромінювання білий, потужність джерела світла: 150,0 - 200,0 Вт, шт.	240
2	Регулятор яскравості з номінальним діючим значенням струму навантаження – 6,6 а, номінальної потужності не менше 12,0 кВА, шт.	4
3	Ізолювальний трансформатор з номінальними струмами 6,6/6,6 А, потужністю 0,15-0,2 кВА, для електропостачання надземних вогнів наближення та світлових горизонтів, шт.	240
4	Високовольтний мідний первинний кабель, перетином 6,0 мм <sup>2</sup> , довжина, м. За умови застосування двох ТП	11000
5	Високовольтний конектор, пара, шт.	250

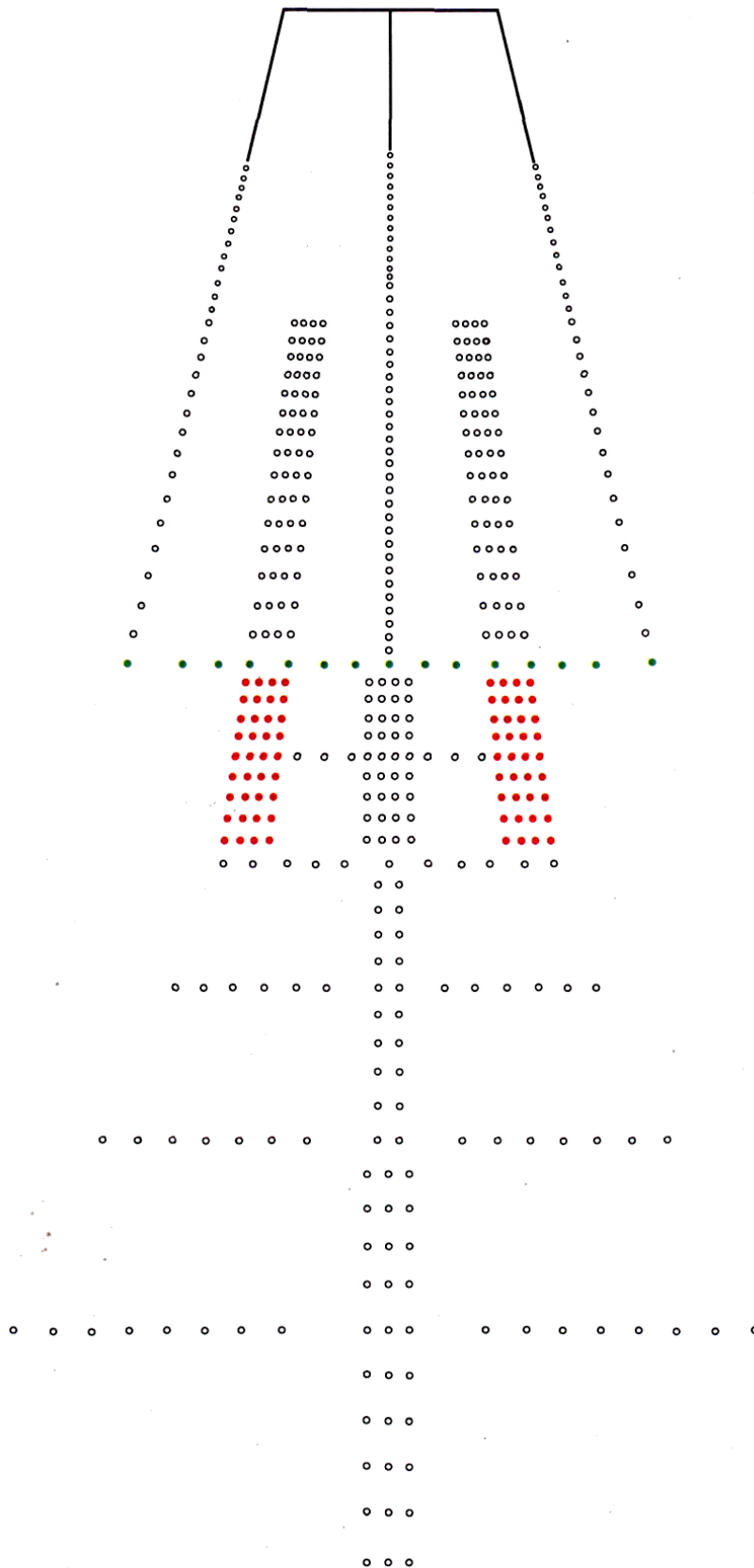


Рис. 1.2. Схема стандартної конфігурація світлосигнальної системи аеродрому II, I категорій з кодуванням відстані та 5-ти світловими горизонтами

2. Стандартна схема розташування вогнів наближення до ЗПС по центральному ряду з лінійними вогнями та одним світловим горизонтом, (схема ALPA-ATA).

Склад підсистеми вогнів наближення по центральному ряду з лінійними вогнями та одним світловим горизонтом і п'ятьма одиночними вогнями у складі одного лінійного вогню ілюструється таблицею 1.3 та рисунком 1.3. Для зручності користування в таблиці представлені і елементи системи електропостачання аеродромних вогнів. Схема розташування відповідних аеродромних вогнів ілюструється кресленням 1 (додаток).

Таблиця 1.3

Склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів за стандартною схемою ALPA-ATA з п'ятьма одиночними вогнями у складі одного лінійного вогню.

№	Найменування елементів обладнання світлосигнальної системи аеродрому	Кількість
1	Надземний прожекторний вогонь наближення високої інтенсивності в зборі, колір випромінювання білий, потужність джерела світла: 150,0 - 200,0 Вт, шт.	320
2	Регулятор яскравості з номінальним діючим значенням струму навантаження – 6,6 а, номінальної потужності не менше 16,0 ква, шт.	4
3	Ізолювальний трансформатор з номінальними струмами 6,6/6,6 А, потужністю 0,15-0,2 кВА, для електропостачання надземних вогнів наближення та світлових горизонтів, шт.	320
4	Високовольтний мідний первинний кабель, перетином 6,0 мм <sup>2</sup> , довжина, м. За умови застосування двох ТП	10000
5	Високовольтний конектор, пара, шт.	350
6	Низьковольтний мідний двожильний вторинний кабель, перетином 2,5 мм <sup>2</sup> , довжина, м.	700

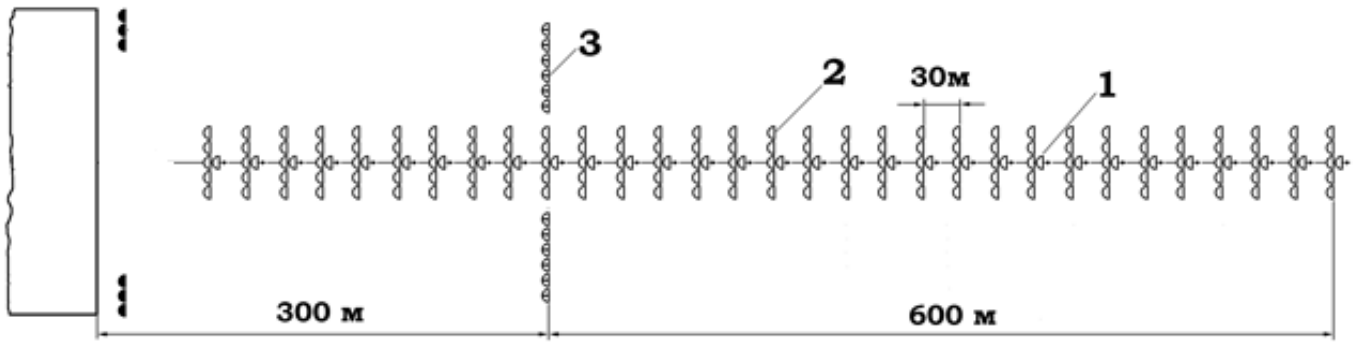


Рис. 1.3. Схема стандартної конфігурація світлосигнальної системи аеродрому I категорій (ALPA-ATA).

На рисунку 1.3. зображено: 1- імпульсні вогні наближення, білого кольору; 2 - лінійні вогні центрального ряду та білого кольору; 3 - вогні світлових горизонтів.

### висновки до розділу 1

1. Порівнюючи дві конфігурації розташування підсистем вогнів наближення та світлових горизонтів – Калверта та ALPA-ATA стає відомо, що стандартна схема Калверта містить 120 вогнів а стандартна схема ALPA-ATA – 130 шт.

2. Перевагою схеми ALPA-ATA є менша площа, на якій встановлені вогні та більша надійність підсистеми за рахунок застосування лінійних вогнів наближення центрального ряду але вона не дозволяє трансформації в спрощену конфігурацію.

3. Враховуючи факт застосування у вогнях сучасних джерел світла з середнім значенням наробітку до відмови 1000 – 1500 год. (в номінальному режимі) можна припустити, що показники надійності підсистеми за схемою ALPA-ATA вище ніж у підсистемі за схемою Калверта, не настільки, що це вплине на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

## РОЗДІЛ 2

### РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ВОГНІВ НАБЛИЖЕННЯ ССА «РІВНЕ»

#### 2.1. Спрощена конфігурація підсистеми вогнів наближення

2.1.1. Загальна характеристика проблеми спрощення конфігурацій підсистем авіаційних вогнів

Правильне функціонування ССА є гарантією забезпечення необхідного візуального контакту на етапі візуального пілотування та нормованого рівня безпеки польотів на аеродромах цивільної авіації за умови правильних дій екіпажу ПС та правильного функціонування наземних і бортових систем забезпечення польотів. Сучасна ССА I-III категорій містить кілька сотень елементів, а її загальна вартість сягає мільйонів євро, не кажучи про щорічні експлуатаційні витрати та вартість електроенергії.

Така висока вартість світлосигнального обладнання є головною перешкодою у процесі заміни застарілого обладнання, що експлуатується за межами гарантованого терміну служби, на нове сучасне обладнання імпортного виробництва для багатьох аеропортів України в тому числі і для аеропорту «Рівне».

Висока вартість світлосигнального обладнання є проблемою не тільки для аеропортів України, а й для інших аеропортів в усьому світі.

Про цей факт свідчить робота [2], де ще у 2000 році англійськими фахівцями аналізувалася ця проблема і пропонувалася низка заходів щодо зменшення вартості ССА. Ці заходи спрямовані на спрощення деяких підсистем при збереженні нормованого рівня безпеки польотів.

Під спрощенням конфігурації розуміється зменшення кількості аеродромних вогнів у підсистемах, що відповідно веде до збільшення інтервалів між ними.

В розділі 16 документу [3] надається обґрунтування спрощення конфігурації деяких підсистем ССА I-III категорій. Наголошується на тому, що радикальне перепроектування підсистем ССА є недоцільним. Необхідно зменшити кількість вогнів у деяких підсистемах, але без зниження рівня безпеки та регулярності польотів. При проектуванні підсистем ССА основна увага приділялася забезпеченню надійного візуального контакту пілота повітряного судна з вогнями ССА, особливо у складних метеорологічних умовах.

Для гарантування високої ймовірності безвідмовної роботи кожної підсистеми ССА у будь-який момент часу в конфігурацію підсистем вогнів було закладено багаторазове інформаційне резервування. Таким чином, для забезпечення надійності підсистем вогнів до основної конфігурації підсистеми додавалися додаткові елементи, утворюючи надлишкову кількість вогнів.

Льотні випробування за участю пілотів-експертів довели можливість зменшення кількості аеродромних вогнів у деяких підсистемах ССА I-III категорій експлуатаційних мінімумів без зниження рівнів безпеки та регулярності польотів.

Висновки англійських дослідників ґрунтуються на проведених ними випробуваннях з залученням пілотів-експертів різного рангу на тренажерах та в реальних льотних умовах.

Всі пілоти охарактеризували ССА зі зменшеною кількістю вогнів у певних підсистемах, як «достатню» для отримання необхідної візуальної інформації. Крім того, одночасно із заходом на посадку з ССА зі спрощеною конфігурацією, моделювалися різні відмови бортового обладнання, навіть відмови двигуна. За всіх цих умов пілоти-експерти однаково охарактеризували спрощену конфігурацію ССА, як «достатню» для здійснення посадки.

Аналогічні висновки наводяться і в стандартах ІКАО: “Имитационные летные испытания однозначно продемонстрировали, что количество огней, образующих конфигурацию системы, может быть значительно уменьшено без заметного

ухудшения ее эксплуатационных характеристик”,  
п. 16.6.4, [3].

В тому ж документі, [3] настійно рекомендується використання спрощених конфігурацій окремих підсистем ССА, про що говорить п.1.2.28: «Так как в распоряжении пилота имеется всего несколько секунд, чтобы увидеть визуальные средства и соответственно отреагировать на них при плохой видимости, упрощение конфигурации системы в дополнение к ее стандартизации представляется крайне важным».

В останніх редакціях стандартів і рекомендацій ІКАО [1, 2] наводяться приклади спрощених конфігурацій ССА II та I категорій, рис. 2.1.

Аналіз рис. 2.1. дозволяє зробити висновок, що спрощення конфігурації відповідно вимогам стандартів ІКАО можливо в наступних підсистемах аеродромних вогнів ССА I, II категорій:

- Вогні наближення центрального ряду за схемою Калверта в ССА I категорії.
- Лінійні вогні наближення центрального ряду та бічні вогні наближення на ділянці 300 м до торця ЗПС за схемою Калверта в ССА II категорії.
- Осьові вогні ЗПС
- Вогні ЗПС зони приземлення



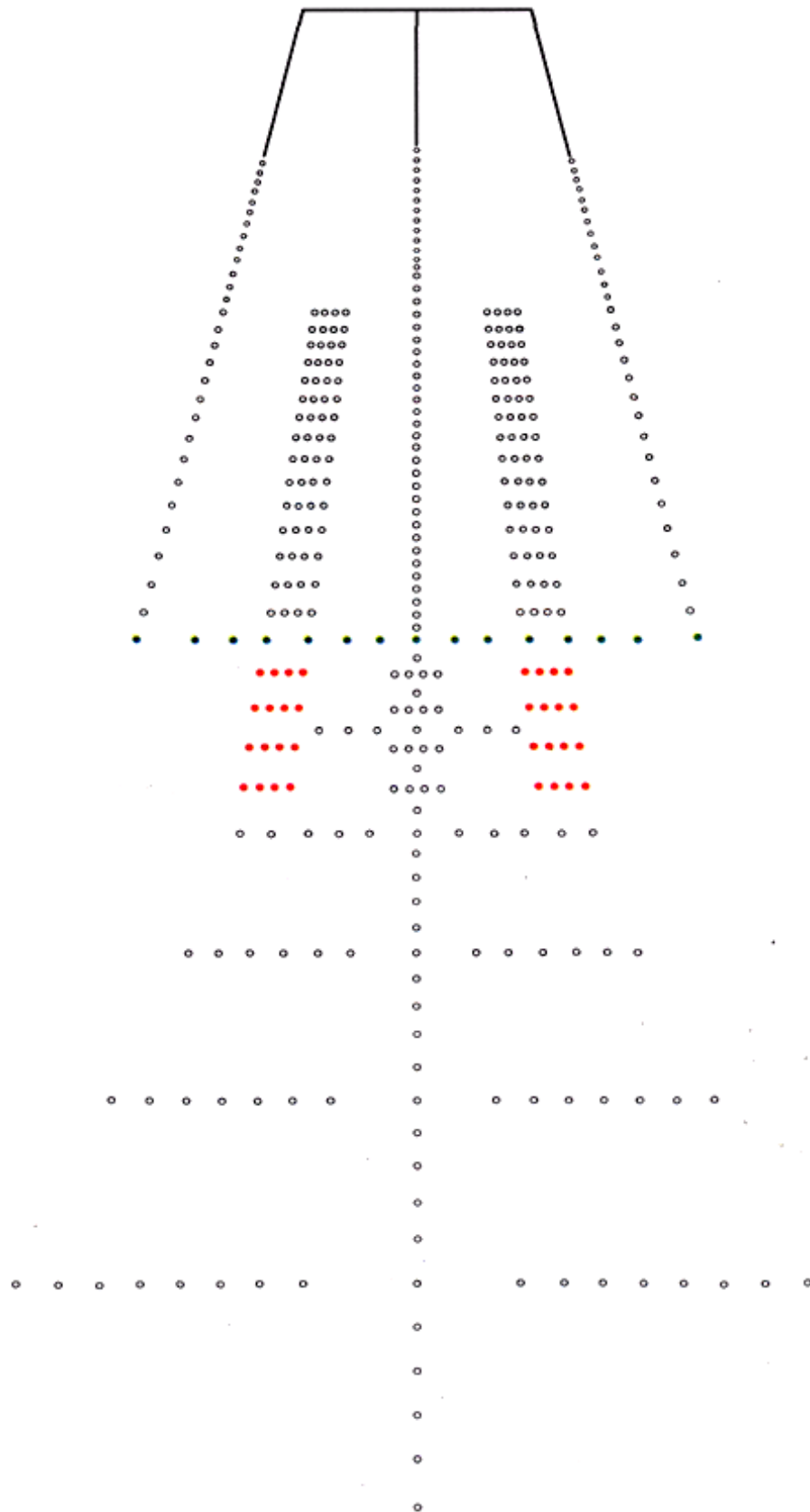


Рис. 2.1. Спрощена конфігурація світлосигнальної системи аеродрому II, I категорій.

У вогнях наближення за схемою Калверта в спрощеній конфігурації дозволяється довжину світлових горизонтів робити ідентичною і рівною по довжині світловому горизонту, розташованому на відстані 300 м від торця ЗПС, п.5.3.4.28, [1], що, також дозволяє зменшити кількість вогнів світлового горизонту на 10 штук.

Документ ІКАО, [3], п.16.6.8 свідчить, що при довжині ЗПС 3000 м спрощення конфігурацій розглянутих підсистем дозволяє зменшити загальну кількість вогнів (ізолювальних трансформаторів, також) на 120 одиниць.

Натомість, вимогами стандартів і рекомендаціями ІКАО дозволяється застосування підсистем вогнів зі спрощеною конфігурацією за умови забезпечення системою технічного обслуговування ССА нормованого рівня показників їх надійності, та відповідним підтвердженням цього факту є п. 16.6.5, [3].

Докладно розкриваючи умови застосування спрощених конфігурацій окремих підсистем вогнів, слід сформулювати ці умови, які викладені у стандартах ІКАО (п.10.4.7 і/або 10.4.11) [1] і які потребують від системи технічного обслуговування ССА гарантії працездатного стану, як мінімум, 95% вогнів підсистеми у будь-який момент часу при виконанні польотів в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому II, III категорій і відповідно 85% для експлуатаційного мінімуму аеродрому I категорії.

З метою виключення можливості неправильного наведення ПС на вісь ЗПС не дозволяється наявність двох суміжних непрацездатних вогнів у підсистемах за виключенням вогнів світлових горизонтів та лінійних вогнів.

Не викликає сумнівів, що такі вимоги до підсистеми вогнів ССА, сформульовані в стандартах ІКАО за результатами певних наукових досліджень, мають обов'язково виконуватися.

Слід, однак, зауважити, що парадоксальним чинником у проблемі, що розглядається, є об'єктивна неможливість навіть її теоретичного вирішення, не

кажучи вже про практичну реалізацію сформульованих вимог з боку системи технічного обслуговування ССА.

Причиною такого твердження є те, що у документах [1, 3] немає конкретних цифр, що мають визначати імовірність, з якою потрібно забезпечувати працездатний стан підсистеми вогнів зі спрощеною конфігурацією за будь-який проміжок часу.

Відомо, що не існує абсолютно надійних систем, тому гарантувати їх працездатний стан можна тільки з якоюсь імовірністю у межах певного часу. Підсистеми вогнів зі спрощеною конфігурацією не є винятком.

Отже, актуальною є, також, проблема, яка полягає у визначенні та обґрунтуванні імовірності, з якою обслуговуючий ССА персонал повинен забезпечити працездатний стан ССА, або окремих її підсистем зі спрощеними конфігураціями.

Наявність такого показника дозволить визначити об'єктивну можливість забезпечення працездатного стану підсистем вогнів зі спрощеними конфігураціями з урахуванням сучасного досягнутого рівня показників їх надійності та об'єктивних можливостей обслуговуючого персоналу забезпечити працездатний стан підсистем вогнів.

Детальний аналіз стандартів ІКАО, [3] щодо вимоги про забезпечення 95–85% працездатності всіх вогнів підсистеми дозволяє зробити висновок, про такий комплексний показник надійності, як коефіцієнт готовності [4].

Наявність конкретного показника надійності дозволить визначити об'єктивну можливість виконання умов стосовно забезпечення працездатного стану підсистем вогнів зі спрощеною конфігурацією з урахуванням сучасного досягнутого рівня їх показників надійності та об'єктивних можливостей обслуговуючого персоналу щодо забезпечення працездатного стану підсистем вогнів.

Не викликає, також, сумнівів, що показник імовірності, яким обслуговуючий ССА персонал повинен забезпечити працездатний стан підсистем вогнів ССА зі

спрощеною конфігурацією, має бути таким, який об'єктивно можна реалізувати на практиці з урахуванням сучасного технічного рівня обладнання ССА і технологічних операцій з його обслуговування та рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Таким чином, основна проблема, що визначає можливість і умови використання підсистем вогнів зі спрощеною конфігурацією потребує вирішення трьох основних завдань:

1. Нормування коефіцієнта готовності підсистем вогнів ССА зі спрощеним класом виходячи з науково обґрунтованих критеріїв відмови підсистем та забезпечення ними нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

2. Розрахунок значення коефіцієнта готовності з використанням вихідних даних з надійності окремих елементів, що входять до складу підсистеми зі спрощеною конфігурацією.

3. Визначенні та обґрунтуванні чисельного значення імовірності, яким обслуговуючий персонал повинен забезпечити працездатний стан ССА, або окремих її підсистем зі спрощеними конфігураціями в умовах відповідних категорій експлуатаційних мінімумів аеродрому.

2.1.2. Склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів з обох напрямків посадки за спрощеною схемою Калверта.

Склад підсистеми вогнів наближення по центральному ряду з одиночними вогнями та п'ятьма світловими горизонтами спрощеної конфігурації ілюструється таблицею 2.1. Схема розташування відповідних аеродромних вогнів зі спрощеними конфігураціями ілюструється кресленнями 2 (дадаток).

Склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів за спрощеною конфігурацією Калверта.

	Найменування елементів обладнання світлосигнальної системи аеродрому	Кількість
1	2	3
1.	Надземний прожекторний вогонь наближення високої інтенсивності в зборі, колір випромінювання білий, потужність джерела світла: 150,0 - 200,0 Вт, шт.	180
2.	Регулятор яскравості з номінальним діючим значенням струму навантаження – 6,6 А, номінальної потужності не менше 10,0 кВА, шт.	4
3.	Ізолювальний трансформатор з номінальними струмами 6,6/6,6 А, потужністю 0,15-0,2 кВА, для електропостачання надземних вогнів наближення та світлових горизонтів, шт.	180
4.	Високовольтний мідний первинний кабель, перетином 6,0 мм <sup>2</sup> , довжина, м. За умови застосування двох ТП	4200
5.	Високовольтний конектор, пара, шт.	200
6.	Низьковольтний мідний двожильний вторинний кабель, перетином 2,5 мм <sup>2</sup> , довжина, м. Орієнтовне значення. Уточнюється після прийняття рішення про спосіб електропостачання вогнів	350

## **2.2. Розробка схеми електропостачання підсистеми вогнів наближення злітно-посадкової смуги у складі ССА Рівне**

### **2.2.1. Загальні принципи електропостачання**

Система електропостачання аеродромних вогнів здійснюється на загальних консервативних принципах задекларованих в нормативно-технічному документів. Консервативність принципу полягає в обов'язковому електропостачанні кожної з підсистем аеродромних вогнів крім руліжних і глісадних не менше ніж по двох кабельних лініях [5,6].

Дана вимога не має під собою наукового обґрунтування, тим більш, для сучасних ССА з високо надійними елементами системи електропостачання вогнів. Автори у своїх публікаціях неодноразово доводили необґрунтованість такої вимоги, коли в системі електропостачання аеродромних вогнів вимагається резервувати самий надійний елемент – кабель.

### **2.2.2. Обґрунтування вибору кількості регуляторів яскравості та розробка схеми електропостачання**

**Варіант І.** Стандартний, де на кожний напрямок посадки в підсистемі вогнів наближення і світлових горизонтів використовується по 2 регулятора яскравості основних і 1 резервний. Кількість регуляторів яскравості в варіанті І представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

## Кількість регуляторів яскравості для варіанту I.

№	Найменування підсистеми аеродромних вогнів	Кількість регуляторів яскравості	
		Основних	Резервних
1.	Підсистема вогнів наближення і світлових горизонтів з МК <sub>пос.</sub> - 115°	2	1
2.	Підсистема вогнів наближення і світлового горизонту з МК <sub>пос.</sub> - 295°	2	1

**Варіант II.** Даний варіант базується на тому факті, що електропостачання аеродромних вогнів здійснюється з однієї ТП та два напрямки посадки одночасно ніколи не функціонують, тобто в роботі перебувають або регулятори яскравості підсистем вогнів наближення і світлових горизонтів з МК<sub>пос.</sub>- 115°, або з МК<sub>пос.</sub>- 295°. таблиця 2.3

Таблиця 2.3

## Кількість регуляторів яскравості для варіанту I.

№	Найменування підсистеми аеродромних вогнів	Кількість регуляторів яскравості	
		Основних	Резервних
1.	Підсистема вогнів наближення і світлових горизонтів з МК <sub>пос.</sub> - 115°	2	1
2.	Підсистема вогнів наближення і світлового горизонту з МК <sub>пос.</sub> - 295°		

З таблиці 2.3 випливає, що 2 регулятори яскравості обслуговують підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів, як з напрямку посадки  $MK_{\text{пос.}} - 115^\circ$ , так і з напрямку посадки  $MK_{\text{пос.}} - 295^\circ$ . Один резервний регулятор яскравості обслуговує два основних регулятора.

Електропостачання підсистеми вогнів наближення здійснюється по двох кабельних лініях від двох регуляторів яскравості креслення 2. Керуючись цим принципом, визначено потужність кабельних ліній та вибір і узгодження по потужності регулятора яскравості з кожною з кабельних ліній. Кількість вогнів у деяких з підсистем визначається орієнтовно ( $\pm 2 - 3$  вогню).

Основні технічні характеристики підсистеми вогнів наближення для спрощеної конфігурації схеми Калверта, які визначають загальну кількість вогнів та довжину кабельної ліній, представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Основні технічні характеристики вогнів наближення спрощеної схеми Калверта з обох напрямків посадки

1.	Підсистема вогнів наближення та світлових горизонтів з $MK_{\text{пос.}} - 115^\circ / 295^\circ$	Одиночні вогні наближення центрального ряду, 150,0 Вт	30	9000
		Вогні світлових горизонтів, 150,0 Вт	60	
Усього вогнів у підсистемі			90	9000

План розташування підсистеми вогнів наближення до ЗПС з спрощеною конфігурацією та світлових горизонтів ілюструються кресленням 2.

План розташування кабельних ліній електропостачання підсистеми вогнів наближення до ЗПС ілюструється кресленням 2.



### 2.2.3. Розрахунок потужності кабельної лінії

Електрична потужність кабельних ліній визначається з метою правильного вибору потужності регуляторів яскравості, що використовуються у системі електропостачання вогнів та їх оптимального з техніко-економічних позицій узгодження з потужністю кабельних ліній [7].

Визначення електричної потужності кабельних ліній аеродромних вогнів проводиться виходячи з вихідних даних, що характеризують кабельну лінію, які представлені у таблиці 2.4.

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

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 УКЛ, (В) визначається за загальною формулою:

$$U_{\text{КЛ}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n N_i U_i + \Delta U_r\right)^2 + \Delta U_L^2}, \quad (2.1)$$

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:

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(n_{65}U_{65} + n_{100}U_{100} + n_{200}U_{200} + n_{300}U_{300} + \Delta U_r)^2 + \Delta U_L^2}, \quad (2.2)$$

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(45 * 32,8 + 182,9)^2 + 3,718^2} = 1658,9 \text{ В.}$$

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;

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

$$U_I = \frac{S_{\text{ИТ}}}{I_{\text{кл}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (2.3)$$

$$U_I = \frac{150}{6.6 * 0.8 * 0.9} = 32.8 \text{ В.}$$

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:

$$\Delta U_r = I_{\text{кЛ}} \cdot r_0 \cdot l, \quad (2.4)$$

$$\Delta U_r = 6.6 \cdot 3.08 \cdot 9 = 182.9$$

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:

$$\Delta U_L = I_{\text{кЛ}} \cdot X_L \cdot l, \quad (2.5)$$

де  $X_L$  – погонний індуктивний опір кабелю, або з визначенням індуктивності кабелю і наступним визначенням  $\Delta U_L$  за формулою:

$$\Delta U_L = I_{\text{кЛ}} \cdot 2\pi f L_{\text{кЛ}}, \quad (2.6)$$

$$\Delta U_L = 6.6 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.00153 = 3,17, \text{ В.}$$

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

$f$  – частота мережі.

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

$$L_{кл} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right), \quad (2.8)$$

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 отримаємо розрахункову формулу для визначення власної індуктивності кабельної лінії:

$$L_{кл} = 2l \left( \ln \frac{2l}{r_0} - 1 \right) \cdot 10^{-7}, \quad (2.9)$$

$$L_{кл} = 2 * 9000 \left( \ln \frac{18000}{0,137} - 1 \right) * 10^{-7} = 0.00153, \text{ Гн}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (2.10)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{0.06}{3.14}} = 0.137, \text{ м}^2$$

Де  $S$ – Площа перерізу кабелю

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

$$S_{\text{рЯ}} = U_{\text{кл}} \cdot I_{\text{кл}}, \quad (2.11)$$

$$S_{\text{рЯ}} = 165839 \cdot 6.6 = 10948,7$$

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

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

Коефіцієнт корисної дії та еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювальних трансформаторів для номінального режиму прийнятий відповідно: 0,8 та 0,97.

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

## **висновки до розділу 2**

4 Можливість використання підсистем аеродромних вогнів зі спрощеними конфігураціями частково передбачається вимогами національних нормативно-технічних документів, дозволяється вимогами стандартів ІКАО та рекомендується ними для практичного впровадження у світлосигнальних системах II, I категорій аеродромів цивільної авіації.

5 Використання підсистем світлосигнальних вогнів зі спрощеними конфігураціями дозволяється за умови забезпечення обслуговуючим персоналом

нормованого значення рівня надійності окремих підсистем вогнів, що науково обґрунтований та визначений в даній роботі, виходячи з критерію забезпечення світлосигнальною системою нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування.

6 Спрощені конфігурації підсистеми вогнів наближення, мають наступні переваги порівняно зі стандартними конфігураціями:

- Меншу кількість одиночних аеродромних вогнів і відповідно ізолювальних трансформаторів у три-чотири рази.
- Меншу електричну потужність кабельних ліній.
- Меншу вартість технічного обслуговування підсистеми в процесі її технічної експлуатації.

Ці переваги мають особливе значення для аеропортів України, у яких проводиться модернізація або повна заміна обладнання ССА.

7 Застосування у процесі модернізації ССА, наприклад, підсистем вогнів наближення зі спрощеною конфігурацією дозволить отримати разовий орієнтовний економічний ефект до 50 тис. євро та наступний щорічний економічний ефект до 10 тис. євро за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт підсистеми вогнів наближення.

## РОЗДІЛ 3

### ОПИС ТА РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

#### 3.1. Опис показників надійності

При заході на посадку у СМУ до висоти прийняття рішення (ВПР) пілот користується інформацією від радіотехнічних засобів керування польотом. Після ВПР захід на посадку відбувається візуально, і первинний візуальний контакт із землею забезпечують світлосигнальні вогні, що входять до складу підсистеми вогнів наближення до злітно-посадкової смуги (ЗПС). Саме наявність надійного візуального контакту з вогнями наближення до ЗПС впливає на прийняття командиром ПС рішення про продовження посадки чи про вихід на друге коло. Отже на висоті прийняття рішення пілот має встановити візуальний контакт з наземними орієнтирами – вогнями наближення до ССА – і тільки при встановленні надійного візуального контакту, він може прийняти рішення про здійснення посадки. В протилежному випадку пілот ПС має перервати маневр заходу на посадку та піти на друге коло.

У сучасних ССА першої, категорії вогні наближення розміщуються по центральному ряду на продовженні осі ЗПС на ділянці 900 м до її торця і забезпечують пілотів ПС світлосигнальною інформацією про наведення на вісь ЗПС.

Рівень безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування в СМУ в основному визначають здебільшого видом технічного стану ССА за умови правильного функціонування комплексу “екіпаж – повітряний корабель” та наземних радіотехнічних і метеорологічних засобів забезпечення польотів.

Застосування спрощеної конфігурації у підсистемах вогнів наближення дозволяється за умови гарантування системою технічного обслуговування ССА певного відсотка працездатних аеродромних вогнів у цій підсистемі під час її використання у певних метеорологічних умовах [5].

Впровадження спрощених конфігурацій підсистем вогнів наближення стало можливим внаслідок появи на ринку високонадійних елементів світлосигнального обладнання – світлосигнальних вогнів, ізолювальних трансформаторів, кабелю, регуляторів яскравості тощо.

Практичне застосування спрощеної конфігурації підсистем вогнів наближення потребує, натомість, додаткового наукового обґрунтування можливості забезпечення показників їх надійності системою технічного обслуговування ССА.

Підсистема вогнів наближення є складною та багатоелементною топологічною підсистемою, з складним критерієм відмови. Критерій відмови для підсистеми вогнів наближення до ЗПС складається з двох ознак - кількісної та топологічної.

Кількісна ознака критерію відмови підсистеми вогнів наближення до ССА визначає мінімальну кількість елементів підсистеми вогнів наближення до ССА, що перебувають у непрацездатному стані, при якій уся система ССА переходить до непрацездатного стану.

Топологічна ознака критерію відмови підсистеми вогнів наближення до ССА визначає мінімальну кількість елементів підсистеми вогнів наближення до ССА, що перебувають у стані відмови і є суміжними, при якій уся підсистема вогнів наближення до ССА переходить до стану відмови.

Детальний аналіз вимог ІКАО щодо вимоги про забезпечення 95–85% працездатності всіх вогнів підсистеми дозволяє зробити висновок, про такий комплексний показник надійності, як коефіцієнт готовності.

Наявність конкретного показника дозволить визначити об'єктивну можливість виконання умов стосовно забезпечення працездатного стану підсистеми вогнів наближення з урахуванням сучасного досягнутого рівня їх показників надійності та об'єктивних можливостей обслуговуючого персоналу щодо забезпечення працездатного стану підсистеми вогнів.

Не викликає також сумнівів, що показник імовірності, яким обслуговуючий ССА персонал повинен забезпечити працездатний стан підсистеми вогнів



наближення до ЗПС, має бути таким, який об'єктивно можна реалізувати на практиці з урахуванням сучасного технічного рівня обладнання ССА і технологічних операцій з його обслуговування.

З метою виключення можливості неправильного наведення ПС на вісь ЗПС не дозволяється наявність двох суміжних непрацездатних вогнів у підсистемі вогнів наближення.

Відомо, що не існує абсолютно надійних систем, тому гарантувати їх працездатний стан можна тільки з якоюсь імовірністю у межах певного часу.

### **3.2. Нормування показників надійності підсистеми вогнів наближення до ЗПС**

Якщо підсистема вогнів наближення до ССА буде перебувати у непрацездатному стані, то у кращому випадку, пілот не зможе встановити візуальний контакт з її вогнями і вимушений буде піти на друге коло, або може бути введений в оману спотвореною світлосигнальною картиною і продовжити посадку керуючись невірною інформацією про своє положення у повітрі відносно землі. У цьому випадку виникає «особлива ситуація» – ситуація, що виникає під час польоту і спричинена дією несприятливих факторів або їх збігом, що призводить до потенційного зниження рівня безпеки польоту – як мінімум «ускладнення умов польоту».

Така ситуація характеризується незначним збільшенням психофізіологічного навантаження на екіпаж ПС і може бути виправлена його правильними діями, але точно передбачити її розвиток неможливо, адже врахування людського фактору є дуже складною задачею. Отже така ситуація може розвинутися у «складну» і навіть далі («аварійну» або «катастрофічну»), тобто привести до авіаційної події [8, 9].

Саме тому до показників надійності ССА ставляться певні вимоги, при яких забезпечуються нормовані рівні безпеки польотів ПС.

З метою гарантування нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування необхідно нормувати показники надійності ССА, підсистем ССА та її елементів, які мають визначатися, оцінюватися, контролюватися та забезпечуватися в процесі експлуатації.

Основним принципом нормування показників надійності ССА взагалі і коефіцієнта готовності підсистем вогнів зокрема, є умови забезпечення ССА та кожною її підсистемою нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування в умовах відповідних категорій експлуатаційних мінімумів аеродрому [4].

Нормування показників надійності ССА та її підсистем є одною з головних наукових задач, рішення якої має бути безпосередній вплив на безпеку та регулярність польотів ПС на етапі візуального пілотування у СМУ.

Під нормуванням надійності ССА розуміється встановлення у нормативно-технічній та/або конструкторській (проектній) документації кількісних та якісних вимог до її надійності [5].

Аналіз нормативно-технічної документації цивільної авіації України, Росії, стандартів та рекомендацій ІКАО, єдиних авіаційних правил продемонстрував відсутність чітких кількісних вимог до показників надійності ССА та її підсистем, вказуються тільки якісні вимоги без жодних наукових обґрунтувань.

У нормативно-технічній документації на наземні системи радіотехнічного забезпечення польотів (ІЛС, КРМ, ГРМ) ставляться кількісні вимоги до якості їх роботи, які можна розглядати як вимоги до показників надійності. Це такі два показники, як «цілісність системи ІЛС» та «неперервність обслуговування ІЛС». Під цілісністю системи ІЛС розуміється така її якість, яка відповідає ступеню впевненості в тому, що інформація, яка випромінюється ІЛС є вірною. Рівень цілісності КРМ або ГРМ виражається у вигляді показника ймовірності відсутності випромінених хибних сигналів. Під неперервністю обслуговування ІЛС розуміється така її якість, яка пов'язана з перервами у випроміненні сигналу.

Цей факт зайвий раз підтверджує необхідність встановлення нормованих значень показників надійності ССА та її підсистем, адже їх надійність безпосередньо визначає рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування у СМУ.

Наявність конкретного показника дозволить визначити об'єктивну можливість виконання умов стосовно забезпечення працездатного стану підсистеми вогнів зі спрощеною конфігурацією з урахуванням сучасного досягнутого рівню їх показників надійності і інструментальних можливостей обслуговуючого персоналу забезпечити працездатний стан підсистеми вогнів.

Цей факт означає, що для нормування показників надійності ССА та її підсистем необхідно мати відповідну методику кількісної оцінки впливу показників надійності ССА та її підсистем на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування

Нормування показників надійності ССА і її підсистем може бути здійснене за умови створення математичної моделі, яка встановлює зв'язок між показниками надійності ССА та рівнем безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування в умовах експлуатаційного мінімуму I, II категорії.

В основі кількісної оцінки впливу показників надійності підсистем ССА (ПССА) на рівень безпеки польотів ПС полягає математична модель етапу візуального пілотування, яка враховує всі стани підсистем ССА та їх вплив на виникнення особливої ситуації.

Математична модель етапу візуального пілотування має вигляд:

$$Q_{OC}(t) = [(1 - P_{PC_{кр}}) Q_{AB}(t) Q_{CAA}(t) + K_{Г_{ССА}}(t) Q_{ССА}(t_{вп}) + Q_{ПЕАВ}(t) P_{PC_{кр}} + Q_{AB}(t) P_{PC_{кр}}] K_{СМУ}, \quad (3.1)$$

де  $P_{PC_{кр}}$  – імовірність заходу на посадку “критичного ПС” (ПС, яке за певних причин не може перервати захід на посадку);

$Q_{AB}(t)$  – імовірність застати ПССА в непрацездатному стані через відмову аеродромних вогнів на проміжку часу  $t$ ;

$Q_{САК}(t)$  – імовірність відмови системи автоматичного контролю (САК) технічного стану аеродромних вогнів за час  $t$ ;

$K_{Г_{ССА}}(t)$  – імовірність застигнути ПССА у працездатному стані на момент встановлення візуального контакту екіпажу з вогнями ССА на проміжку часу  $t$ ;

$Q_{ССА}(t_{вп})$  – імовірність відмови ПССА за час візуального пілотування  $t_{вп}$ ;

$Q_{ПЕАВ}(t)$  – імовірність застигнути ПССА в непрацездатному стані через відмову підсистеми електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ) на проміжку часу  $t$ ;

$K_{СМУ}$  – коефіцієнт, який враховує захід на посадку ПС у СМУ, коли застосовується ССА.

Вираз (1) має такий фізичний зміст: особлива ситуація, пов'язана з відмовою ССА, потенційно може виникнути у чотирьох несумісних випадках.

**Випадок 1.** Посадку здійснює не «критичне ПС», і ПССА перебуває в непрацездатному стані через відмову аеродромних вогнів. Даний випадок характеризується відмовою підсистеми аеродромних вогнів ССА одночасно з відмовою системи автоматичного контролю (САК) технічного стану аеродромних вогнів, що приводить до ситуації, коли ПССА перебуває у непрацездатному стані, але інформація про її відмову відсутня.

Екіпаж ПС, що заходить на посадку (або злітає) бачить спотворену світлосигнальну картину, тобто взаємодіє з фактично непрацездатною ПССА.

**Випадок 2.** Підсистема ССА перебуває в працездатному стані до початку візуального контакту екіпажа ПС з аеродромними вогнями, але відмова ПССА відбувається на проміжку часу візуального пілотування  $t_{ВП}$ , тобто екіпаж ПС також взаємодіє з фактично непрацездатною ПССА.

**Випадок 3.** Підсистема ССА перебуває в непрацездатному стані через відмову підсистеми електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ).

Інформація про відмову є, та проводиться аварійне відновлення ПССА, проте є «критичне ПС», що вимагає здійснення негайної посадки.

**Випадок 4.** Посадку здійснює «критичне ПС», і підсистема ССА перебуває в непрацездатному стані через відмову аеродромних вогнів (САК стану аеродромних вогнів перебуває у будь-якому стані).

Усі ці випадки розглядаються за умови правильного функціонування ергатичної системи «екіпаж – повітряне судно» та радіотехнічних засобів забезпечення польотів і зв'язку за час заходу на посадку [10].

Значення ймовірностей  $K_{СМУ}$  та  $P_{ПС\ кр}$  розраховуються для кожного аеродрому індивідуально за статистичними даними спостережень за визначений проміжок часу (з наступною інтервальною оцінкою результатів), наприклад, від року до кількох років (як відношення кількості посадок у СМУ або посадок «критичних ПС» до загальної кількості посадок).

Якщо записати значення ймовірностей, що знаходяться в дужках, через показники надійності підсистем ССА, то отримаємо вираз (2) для кількісної оцінки впливу надійності підсистеми ССА на рівень безпеки польотів повітряних суден.

$$Q_{ОС\ ПССА} = [(1 - P_{ПС\ кр}) K_{АВ}(t) Q_{САК}(t) \times \\ \times K_{ВП}(t) P_{ПС\ кр} + K_{АВ}(t) P_{ПС\ кр}] \cdot K_{СМУ}, \quad (3.2)$$

Вихідними даними для кількісної оцінки впливу надійності підсистем ССА на рівень безпеки польотів повітряних суден є наступні величини, що входять до формули (2):

- нестационарний коефіцієнт аварійного використання ПССА за час  $t - K_{\text{АВ ПССА}}(t)$ ;
- нестационарний коефіцієнт вимушеного простою ПССА за час  $t - K_{\text{ВП ПССА}}(t)$ ;
- нестационарний коефіцієнт готовності ПССА за час  $t - K_{\text{Г ПССА}}(t)$ ;
- імовірність заходу на посадку критичного повітряного судна –  $P_{\text{ПСкр}}$ ;
- коефіцієнт використання підсистеми світлосигнальної системи аеродрому –  $K_{\text{СМУ}}$ ;
- час використання ПССА –  $t$ ;

В результаті розрахунку визначається значення  $Q_{\text{ОС}}(t)$  – імовірність виникнення особливої ситуації з вини ПССА на етапі візуального пілотування в СМУ, за час використання підсистеми ССА та будується графік  $Q_{\text{ОС}}(t)$ .

Для визначення імовірності виникнення особливої ситуації з вини ПССА на етапі візуального пілотування  $Q_{\text{ОС}}(t)$  попередньо визначаються показники надійності ССА за час  $t = 12$  годин (час між двома технічними обслуговуваннями ССА), а імовірність відмови ПССА за час візуального пілотування є дуже малою, тому ми можемо цим значенням знехтувати.

При відсутності систем автоматичного інструментального контролю технічного стану аеродромних вогнів,  $Q_{\text{САК}}(t) = 1$ .

Нормоване значення ймовірності  $Q_{\text{ОС ПССА н}}$  визначається з наступних міркувань. Так як при заході на посадку в умовах експлуатаційного мінімуму I, II категорії усі підсистеми ЗПС надають однаково важливу візуальну інформацію для пілота ПС на етапі візуального пілотування, то  $Q_{\text{ОС ПССА н}}$  визначається наступним чином [11].

Визначається імовірність успішного заходу на посадку ПС:

$$P_{\text{ПОС ССА н}} = 1 - Q_{\text{ОС ССА н}}, \quad (3.3)$$

де  $P_{\text{ПОС ССА н}}$  – імовірність успішного заходу на посадку ПС у СМУ, з використанням ССА.

Імовірність успішного заходу на посадку, що повинна забезпечуватися одною підсистемою ССА знаходиться за формулою.

$$P_{\text{ПОС ПССА н}} = N_{\text{ПССА}} \sqrt{1 - Q_{\text{ОС ССА н}}}, \quad (3.4)$$

де  $N_{\text{ПССА}}$  – загальна кількість підсистем у складі ССА.

Імовірність виникнення особливої ситуації нормується на рівні.

$$Q_{\text{ОС}}(t) \leq 10^{-3} - 10^{-4} \text{ 1/пос.}, \quad (3.5)$$

Приймаємо  $Q_{\text{ОС ССА н}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ . Тоді ймовірність виникнення особливої ситуації з вини окремої підсистеми дорівнює

$$Q_{\text{ОС ПССА н}} = 1 - \sqrt[5]{1 - Q_{\text{ОС ССА н}}} = 10^{-4} \text{ 1/пос.}, \quad (3.6)$$

Таким чином, отримано нормоване значення імовірності виникнення особливої ситуації з причини відмови будь-якої ПССА, тобто це значення має бути застосовано для оцінки впливу коефіцієнту готовності підсистем вогнів зі спрощеною конфігурацією на рівень безпеки польотів.

Математична модель етапу візуального пілотування, є найбільш повним описом усіх станів і ситуацій світлосигнальної системи аеродрому (або її підсистем), які впливають на рівень безпеки польотів ПС в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому I, II категорії (тобто, які приводять до виникнення особливої ситуації в польоті, на етапі візуального пілотування, як мінімум «ускладнення умов польоту»).

Математична модель етапу візуального пілотування є необхідним апаратом для оцінки розрахованих значень показників надійності ССА та її підсистем. Просте визначення показників надійності ССА не дає відповіді на запитання, чи забезпечує система з такими показниками надійності нормований рівень безпеки польотів ПС за 12 годин. Без проведення процедури оцінки отриманих показників надійності неможливо дати відповідь на запитання чи є такий рівень надійності ССА, або її підсистеми, достатній для забезпечення нею нормованого рівня безпеки польотів ПС.

Тому після визначення показників надійності ССА (або її підсистем) необхідно проводити їх оцінку з застосування математичної моделі етапу візуального пілотування, і тільки після цього, робити висновки, щодо рівня надійності ССА.

Більш простий шлях нормування надійності ПССА, що базується на аналогічному принципі забезпечення підсистемою ССА нормованого рівню безпеки польотів, але не враховує усіх ситуацій, що можуть виникнути у разі відмови підсистеми.

Даний шлях по своїй сутності формує більш жорсткі вимоги до показників надійності підсистем, тому має право бути застосованим для нормування коефіцієнту готовності підсистем вогнів зі спрощеними конфігураціями. Користь від його застосування є ще й в тому, що з'являється можливість порівняти нормовані значення коефіцієнту готовності підсистеми вогнів, які отримані двома різними шляхами та переконатися у правильності отриманих результатів.



Імовірність такої ситуації нами була прийнята рівною  $5 \cdot 10^{-4}$  1/посадку на підставі [7]. Дане значення коректується з урахуванням усієї кількості ПССА, які беруть участь у забезпеченні польоту, і, таким чином, утворюється нормоване значення для кожної з підсистем ССА. Вважається, також, що усі підсистеми вносять рівний вклад у процес забезпечення безпеки польотів, тому їх вагові коефіцієнти у справі забезпечення безпеки польотів усією ССА є ідентичними. Визначення вагових коефіцієнтів окремих підсистем є окремою і складною науково-технічною проблемою, пов'язаною з проведенням експериментальних досліджень.

Отримане нормоване значення показника надійності ПССА буде жорсткішим (тобто дещо завищеним), ніж те, яке б ми отримали при проведенні процедури оцінки показників надійності підсистеми за допомогою математичної моделі етапу візуального пілотування. Однак, використання нормованого значення показника надійності підсистеми значно спростить всю процедуру оцінки надійності ПССА в умовах її експлуатації. Достатньо буде визначити необхідний показник надійності ПССА і порівняти отримане значення з нормованим. Якщо розраховане значення показника надійності ПССА менше нормованого, це означає, що підсистема гарантовано забезпечує нормований рівень безпеки польотів за час між двом технічними обслуговуваннями (12 годин) [8].

Додатковою перевагою такого способу нормування є те, що на практиці при визначенні показників надійності ССА в процесі її експлуатації було б дуже зручно отримувати інформацію про рівень її надійності одразу ж після визначення показників надійності. Це можливо в разі, якщо визначені нормовані значення певних показників надійності ССА або її підсистем, наприклад, імовірності безвідмовної роботи ССА (ПССА) за певний час або коефіцієнту готовності ССА (ПССА).

Визначення нормованих значень показників надійності ССА значно б спростило і зробило прозорішим процедуру визначення і оцінки надійності ССА та її підсистем в процесі експлуатації [9].

Проведення точної оцінки і аналізу показників надійності ССА та її підсистем може проводитися один раз на кілька років (під час сертифікації ССА), або в разі якщо розраховане значення показника надійності буде менше нормованого (або приблизно йому дорівнювати).

Алгоритм визначення надійності ССА є таким, що спочатку визначаються показники надійності ПССА, а потім на їх основі визначається надійність всієї ССА. Крім того, часто виникає необхідність визначити показники надійності окремої ПССА, без визначення надійності всієї ССА.

Оберемо один показник надійності ПССА, якій найбільш повно характеризує її здатність виконувати призначені функції і проформуємо його, беручи за основу нормоване значення рівня безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування.

Для успішного здійснення заходу на посадку ПС необхідно виконання двох умов під час заходу на посадку:

1. Пілот ПС повинен застигнути ССА у працездатному стані.
2. Працездатний стан ССА повинен зберігатися увесь час протягом існування візуального контакту пілота ПС з вогнями ССА, аж до зупинки ПС на місці стоянки.

Першу умову характеризує такий показник надійності, як коефіцієнт готовності системи, а другу – імовірність безвідмовної роботи системи за час  $t$  (де  $t$  є час візуального контакту пілота з вогнями ССА).

Так як розглядається не ССА в цілому, а її окрема підсистема, час взаємодії пілота з кожною окремою підсистемою є дуже малим (декілька секунд) і імовірність відмови підсистеми ССА за цей час має дуже мале значення, яке наближається до 0 і яким можна знехтувати.

Отже показником, який повною мірою характеризує надійність підсистеми є нестационарний коефіцієнт готовності підсистеми за час  $t$  (за час між двома технічними обслуговуваннями 12 годин) [10].

У нормативному документі [7], як вже було сказано вище, нормується ймовірність виникнення особливої ситуації на посадку:

$$Q_{OC}(t) \leq 10^{-3} - 10^{-4} \text{ 1/пос,} \quad (3.7)$$

Отже особлива ситуація виникне за умови, якщо пілот не застигне ССА у працездатному стані у будь-який момент часу в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому II категорії на проміжку часу між двома технічними обслуговуваннями. Імовірність не застигнути ССА у працездатному стані за час  $t$  характеризує такий показник надійності ССА, як коефіцієнт неготовності. Математично це можна записати наступним чином

$$K_{НГССА}(t) \cdot K_{СМУ} \leq Q_{OCССАнорм}, \quad (3.8)$$

При переході до окремої підсистеми вираз (3) буде мати вигляд:

$$K_{НГПССА}(t) \cdot K_{СМУ} \leq Q_{OCПССАнорм}, \quad (3.9)$$

Алгоритм визначення нормованого значення ймовірності виникнення особливої ситуації для підсистеми ССА наведено вище. В нашому випадку це значення складає

$$Q_{OCПССАн} = 10^{-4} \text{ 1/пос,} \quad (3.10)$$

Представимо формулу у більш зручному вигляді:

$$(1 - K_{\Gamma \text{ ПССА}}(t)) \cdot K_{\text{СМУ}} \leq Q_{\text{ОС ПССА норм}}, \quad (3.11)$$

Тоді нормоване значення нестационарного коефіцієнту готовності підсистеми ССА буде визначатися за розрахунковою формулою:

$$K_{\Gamma \text{ ПССА норм}}(t) \geq 1 - \frac{Q_{\text{ОС ПССА норм}}}{K_{\text{СМУ}}}, \quad (3.12)$$

Для найбільш характерних умов у регіональних аеродромах України, ( $K_{\text{СМУ}} = 0,01$ ) нормоване значення  $K_{\Gamma \text{ ПССА норм}}$  буде дорівнювати

$$K_{\Gamma \text{ ПССА норм}}(t) \geq 0,99, \quad (3.13)$$

Таким чином, процедура оцінки показників надійності підсистеми ССА в процесі експлуатації є достатньо простою. Після визначення показників надійності підсистеми ССА необхідно порівняти значення нестационарного коефіцієнта готовності з нормованим значенням.

Для розглянутого випадку це значення дорівнює  $K_{\Gamma \text{ ПССА норм}} = 0,99$ .

Цей коефіцієнт означає, що для застосування спрощеної конфігурації підсистеми вогнів наближення обслуговуючий персонал повинен забезпечити працездатний стан відповідно до сформульованого критерію відмови (15% непрацездатних вогнів) з ймовірністю 0,99 за час між двома технічними обслуговуваннями.

### 3.3. Розрахунок показників надійності

Таким чином, основна проблема, пов'язана з можливістю і умовами експлуатації підсистеми вогнів наближення до ЗПС з інтервалами 30 м, потребує вирішення двох основних завдань: нормування коефіцієнта готовності підсистеми вогнів наближення до ЗПС; розрахунок його значення з використанням вихідних даних з надійності окремих елементів, що входять до складу підсистеми.

Показник, що характеризує надійність підсистеми, є нестационарний коефіцієнт готовності підсистеми за час  $t$  (за час між двома технічними обслуговуваннями 12 год).

При визначенні надійності підсистеми вогнів наближення до ЗПС приймаємо наступні припущення та обмеження:

1. Для всіх елементів ПЕАВ випадковий час напрацювання на відмову і випадковий час відновлення працездатного стану вважається розподіленими за експоненціальним законом, і показники надійності однотипних елементів приймаються однаковими. Відновлення кожного елемента ПЕАВ починається відразу після його відмови (черга на відновлення не утворюється).

2. Кабельна лінія розглядається як єдиний елемент до складу якого входять регулятор яскравості, кабель та ізолюючі трансформатори. Її надійність характеризується загальним показником – середнім часом напрацювання на відмову кабельної лінії. Відомо, що відмова кабелю є поступовою відмовою, отже вважається, що відмова кабелю типу “обрив” є майже неможливою подією, тому кількісне значення показника надійності КЛ визначається власне показником надійності РЯ.

3. У загальному випадку підсистема вогнів наближення до ЗПС складається з неоднорідних елементів – аеродромних вогнів, тобто вони можуть мати різні закони і параметри розподілу середнього часу напрацювання на відмову в залежності від їх типу та місцезнаходження. Отже вважається, що для всіх елементів ПЕАВ випадковий час напрацювання на відмову і випадковий час відновлення

працездатного стану вважаються розподіленими за однаковим законом (приймаємо експоненціальний закон) та мають однакові параметри.

4. Світлосигнальний вогонь вважається єдиним елементом, надійність якого характеризується таким показником, як середній час напрацювання на відмову.

5. Для визначення топологічного критерія відмови підсистеми вогнів наближення до ЗПС розглядаються тільки  $M=1$  (пара суміжних елементів, що відмовили, не дозволяється).

6. Передбачається, що всі елементи системи в момент початку фази використання ( $t = 0$ ) знаходяться в працездатному стані, і система в цілому знаходиться в працездатному стані

7. Вважається, що за час фази використання поточна категорія експлуатаційного мінімуму аеродрому залишається незмінною.

Таблиця 3.1

Вихідні дані для визначення показників надійності підсистеми вогнів наближення до ЗПС типу ВВІ-І зі спрощеною конфігурацією аеродрому «Рівне»

№ п/п	Найменування ПССА	$N_{\text{КЛ}}$ , шт.	$N_{\text{АВ}}$ , шт.	$T_0$ кабелю, ГОД.	$T_{0 \text{ РЯ}}$ , ГОД.	$T_{0 \text{ КЛ}}$ , ГОД.	$T_{0 \text{ АВ}}$ , ГОД.	$T_{\text{В}}$ кл, ГОД.
1	Вогні наближення центрального ряду, ПТ	2	90	15000 0	6000 0	4200 0	4000	0,5

Вихідними даними для визначення показників надійності підсистем ССА є:

- кількість кабельних ліній у ПЕАВ  $N_{\text{КЛ}}$ ;
- кількість аеродромних вогнів у ПАВ  $N_{\text{АВ}}$ ;
- середній час напрацювання на відмову кабельної лінії  $T_{0\text{КЛ}}$ ;
- середній час напрацювання на відмову аеродромного вогню  $T_{0\text{АВ}}$ ;
- середній час відновлення працездатного стану КЛ  $T_{\text{ВКЛ}}$ ;

В результаті розрахунку визначаються всі необхідні показники надійності підсистеми ССА в залежності від режиму її функціонування:

- імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови за час використання –  $P(t)$  та  $Q(t)$ ;
- нестационарні коефіцієнти готовності, неготовності, вимушеного простою та аварійного використання –  $K_{\text{Г}}(t)$ ,  $K_{\text{НГ}}(t)$ ,  $K_{\text{ВП}}(t)$ ,  $K_{\text{АВ}}(t)$ ;
- середнє напрацювання між двома відмовами –  $T_0$ ;
- середній час відновлення працездатного стану –  $T_{\text{В}}$ .

Алгоритм визначення показників надійності підсистеми вогнів наближення до ЗПС, коли критерії працездатного стану підсистеми задані таким чином, що відмова одної КЛ переводить підсистему до непрацездатного стану, складається з наступних етапів [11].

1. Визначається ймовірність безвідмовної роботи ПЕАВ за заданий час  $t$  за формулою

$$P_{\text{ПЕАВ}}(t) = e^{-\frac{t}{T_{0\text{КЛ}}} \cdot N_{\text{КЛ}}}, \quad (3.14)$$

2. Імовірність відмови ПЕАВ визначається як

$$Q_{\text{ПЕАВ}}(t) = 1 - P_{\text{ПЕАВ}}(t), \quad (3.15)$$

3. Визначаються імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови за час  $t$  одного аеродромного вогню

$$P_{AB}(t) = e^{-\frac{t}{T_{0AB}}} ; Q_{AB}(t) = 1 - P_{AB}(t), \quad (3.16)$$

4. Якщо пара суміжних елементів, що відмовили не дозволяється ( $M=1$ ) імовірність безвідмовної роботи ПАВ визначається за формулою

$$P_{ПАВ}(t) = \sum_{i=0}^K C_{N_{AB}-i+1}^i \cdot P_{AB}^{N_{AB}-i}(t) \cdot Q_{AB}^i(t), \quad (3.17)$$

5. Визначаються ймовірність безвідмовної роботи та імовірність відмови ПССА за час  $t$

$$P_{ПССА}(t) = P_{ПЕАВ}(t) \cdot P_{ПАВ}(t), \quad (3.18)$$

$$Q_{ПССА}(t) = 1 - P_{ПССА}(t), \quad (3.20)$$

6. Визначається нестационарний коефіцієнт готовності ПЕАВ

$$K_{ГПЕАВ}(t) = \prod_{i=1}^{N_{КЛ}} \left[ \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \cdot e^{-(\lambda_i + \mu_i)t} + \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \right], \quad (3.21)$$

де  $\lambda_i$  і  $\mu_i$  – інтенсивність відмов та інтенсивність відновлення  $i$ -ої КЛ відповідно.

7. Визначаються комплексні показники надійності підсистеми вогнів наближення, нестационарні коефіцієнти:

коефіцієнт готовності ПССА



$$K_{\Gamma_{\text{ПССА}}}(t) = K_{\Gamma_{\text{ПЕАВ}}}(t) \cdot P_{\text{ПАВ}}(t), \quad (3.22)$$

коефіцієнт неготовності ПССА

$$K_{\text{НГПССА}}(t) = 1 - K_{\Gamma_{\text{ПССА}}}(t), \quad (3.23)$$

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

$$K_{\text{ВППССА}}(t) = 1 - K_{\Gamma_{\text{ПЕАВ}}}(t) \quad (3.24)$$

коефіцієнт аварійного використання підсистеми вогнів наближення до ЗПС – імовірність застати ПССА у будь-який момент часу у стані “відмова ПАВ, інформації про відмову немає”

$$K_{\text{АВПССА}}(t) = K_{\Gamma_{\text{ПЕАВ}}}(t) \cdot Q_{\text{ПАВ}}(t) \quad (3.25)$$

8. Визначається середній час напрацювання між відмовами ПССА

$$T_{0_{\text{ПССА}}} = \frac{P(t)_{\text{ПССА}}}{1 - P(t)_{\text{ПССА}}} \cdot t \quad (3.26)$$

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

$$T_{\text{ВПССА}} = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{\text{В}i}, \quad \lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (3.27)$$

де  $T_{\text{В}i}$  - середній час відновлення  $i$ -го елемента КЛ ПЕАВ, що відмовила.

Результати визначення показників надійності підсистем ССА типу ВВІ-І зі спрощеною конфігурацією аеродрому «Рівне» зведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати визначення показників надійності підсистеми ССА типу ВВІ-І зі спрощеною конфігурацією аеродрому «Рівне»

№ п/п	Назва підсистеми ССА	Найменування показників надійності			
		$P_{ПАВ}(t)$	$K_{Г ПЕАВ}(t)$	$K_{Г}(t)$	$P_{ПССА}(t)$
1	Вогні наближення центрального ряду	0,99974	0,99997	0,99971	0,99917
2	Вогні світлових горизонтів	0,99999	0,99997	0,99997	0,99943
3	Ймовірність виникнення особливої ситуації за 12 годин ( $K_{СМУ} = 0,01$ , $P_{ВСКР} = 0,05$ )	$1,75 \cdot 10^{-5}$			

### висновки до розділу 3

8. На підставі аналізу визначених показників надійності, порівнюючи з нормованими значеннями, при яких забезпечується нормований рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування в складних метеорологічних умовах, можна зробити висновок, що при вказаних показниках надійності елементів світлосигнального обладнання і стратегії технічного обслуговування, ССА типу ВВІ-І зі спрощеною конфігурацією з аеродрому «Рівне» забезпечує нормований рівень безпеки польотів.

9. Нормоване значення ймовірності виникнення особливої ситуації на борту ПС через відмову ССА на етапі візуального пілотування становить  $10^{-3}$  на одну посадку або зліт. З даних таблиці 9.10 видно, що всі ССА забезпечують нормований рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування в умовах експлуатаційних мінімумів аеродрому I, II категорій та без категорії.

10. Порівнявши значення ймовірностей виникнення особливої ситуації за 12 год. на борту ПС через відмову ССА, з точки зору їх надійності, можна зробити вибір на користь спрощених конфігурацій ССА I, II категорій, адже при забезпеченні «достатньої» світлосигнальної картини для пілота ПС під час посадки

або зльоту у складних метеорологічних умовах, рівень їх надійності є вищим (за умови застосування сучасних високонадійних елементів і певної стратегії технічного обслуговування і ремонту).

## РОЗДІЛ 4

### СПЕЦИФІКАЦІЯ ЕЛЕКТРО-СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Дані електро-світлотехнічного обладнання для проведення реконструкції підсистеми вогнів наближення до ЗПС наведено в таблиці 4.1. В таблиці приведено орієнтовна кількість вогнів для підсистеми вогнів наближення до ЗПС з обох напрямків посадки аеродрому «Рівне». Остаточна кількість, тип, фірма виробник обирається після розробки технічної документації та узгодження.

Таблиця 4.1

Склад підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів за спрощеною конфігурацією Калверта.

	Найменування елементів обладнання світлосигнальної системи аеродрому	Кількість
1	2	3
1	Надземний прожекторний вогонь наближення високої інтенсивності в зборі, колір випромінювання білий, потужність джерела світла: 150,0 - 200,0 Вт, шт.	180
2	Регулятор яскравості з номінальним діючим значенням струму навантаження – 6,6 А, номінальної потужності не менше 10,0 кВА, шт.	4
3	Ізолювальний трансформатор з номінальними струмами 6,6/6,6 А, потужністю 0,15-0,2 кВА, для електропостачання надземних вогнів наближення та світлових горизонтів, шт.	180
4	Високовольтний мідний первинний кабель, перетином 6,0 мм <sup>2</sup> , довжина, м.	9000
5	Високовольтний конектор, пара, шт.	400
6	Низьковольтний мідний двожилий вторинний кабель, перетином 2,5 мм <sup>2</sup> , довжина, м. Орієнтовне значення. Уточнюється після прийняття рішення про спосіб електропостачання вогнів	700
7	Прилади кріплення вогнів (металеві голки, або металеві площадки).	Визначаються після обрання постачальника

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Принцип реконструкції обладнання вогнів наближення до ЗПС, що полягає в заміні морально і фізично застарілого світлосигнального обладнання новим, сучасним обладнанням провідних закордонних фірм є найбільш доцільним з техніко-економічних позицій. Реконструкція світлосигнальної системи на підставі сформульованих основних задач дозволить забезпечити нормовані рівні безпеки польотів на етапі візуального пілотування в умовах експлуатаційного мінімуму аеродрому «Рівне» I категорії та знизити витрати на придбання монтаж, технічне обслуговування і ремонт нового обладнання до мінімально можливих значень.

2. З урахуванням вимог міжнародних стандартів визначено комплектність світлосигнальної системи аеродрому «Рівне» з обох напрямків посадки. Доведено, що комплектність, конфігурація та склад ССА після проведення реконструкції дозволяє забезпечити експлуатаційний мінімум аеродрому I категорії.

3. Використання підсистем аеродромних вогнів зі спрощеними конфігураціями дозволяється за умови забезпечення обслуговуючим персоналом нормованого значення рівня надійності підсистеми вогнів, виходячи з критерію забезпечення світлосигнальною системою нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування

4. Попередній аналіз моделей надійності підсистем аеродромних вогнів зі спрощеними конфігураціями показав, що за умови використання сучасних високонадійних елементів у підсистемах вогнів обслуговуючий персонал об'єктивно здатний забезпечити працездатний стан підсистем з нормованим значенням ймовірності при нормованих стандартах ІСАО критеріях відмови вказаних підсистеми вогнів наближення до ЗПС.

5. Впровадження спрощених конфігурації певних підсистем вогнів стало можливим внаслідок появи на ринку України високонадійних елементів світлосигнального обладнання – аеродромних вогнів, джерел світла, ізолювальних трансформаторів, високовольтного кабелю, регуляторів яскравості тощо.

6. Можливість використання підсистем аеродромних вогнів зі спрощеними конфігураціями частково передбачається вимогами національних нормативно-технічних документів, дозволяється вимогами стандартів ІКАО та рекомендується ними для практичного впровадження у світлосигнальних системах II, I категорій аеродромів цивільної авіації.

7. Застосування у процесі модернізації ССА, наприклад, підсистем вогнів наближення зі спрощеною конфігурацією дозволить отримати разовий орієнтовний економічний ефект до 50 тис. євро та наступний щорічний економічний ефект до 10 тис. євро за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт підсистеми вогнів наближення.

9. Проведені попередні розрахунки потужності кабельних ліній показників надійності та запропоновані варіанти кількості та потужності регуляторів яскравості для електропостачання відповідних кабельних ліній.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: в 2 т. / изд. 8-е, июль 2018. - Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.
2. Enthony J. Smith Researches shows less costly lighting systems can meet safety and operational requirements // ICAO Journal. - 1998. Vol. 53, №8 October.
3. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные средства. 4-е изд. – 2004. Doc.9157, AN/901.
4. ДСТУ 2860 – 94 Надійність техніки. Терміни та визначення; Чин. від 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 92 с
5. Единые авиационные требования (Joint Aviation Requirements –JAR – OPS 1, Commercial Air Transportation (Aeroplanes)/ Amendment 4, 1 July 2002.
6. Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран - членов СЭВ. Одобрены постановлением ПКГА СЭВ от 26.11.84, введены в действие в качестве норм летной годности гражданских самолетов СССР 25.10.85.
7. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. 5-е изд. – 2017. Doc.9157, AN/901.
8. Дев'яткіна С.С. Визначення критеріїв відмови світлосигнальних систем аеродромів.// Дев'яткіна С.С. - Вісник НАУ. – 2006. – № 1. – с. 207 – 211.
9. Дев'яткіна С.С. Проблеми автоматизації контролю технічного стану сучасних світлосигнальних систем аеродромів. // Дев'яткіна С.С. Вісник НАУ. – 2007. – № 1. – С. 178-180.
10. Наставление по светотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации СССР (НАЭСТОП ГА - 86) – М.: Транспорт, 1987. – 127 с.
11. JAR-OPS 1. Joint aviation requirements. Commercial air transportation. Aeroplanes. Subpart E. All weatheroperations.». «Коммерческие авиационные перевозки». (Самолеты). Часть E. – 2004. – 178 с.