

**АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютеризованих
електротехнічних систем та технологій

_____ Володимир КВАСНІКОВ

« _____ » _____ 2023 р.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ
РОБОТИ**

з дисципліни «Аеродромні електрифіковані системи візуального забезпечення польотів»

Розробник канд. техн. наук, доцент
Світлана ДЕВ'ЯТКІНА

Завдання на курсову роботу з дисципліни

«Аеродромні електрифіковані системи візуального забезпечення польотів»

Назва курсової роботи: Модернізація підсистеми «назва підсистеми» світлосигнальної системи аеродрому.

Мета роботи: проаналізувати вимоги нормативно-технічних документів щодо підсистеми (назва) світлосигнальної системи аеродрому та підібрати елементи підсистеми виробництва компанії ADB Safegate.

Завдання:

1. Розробити технічне завдання на виконання курсової роботи, в якому сформулювати:

- **об'єкт дослідження** (процес, або явище, або предмет матеріально світу, що створює проблемну ситуацію).
- **предмет дослідження** – те, на що безпосередньо спрямована увага при виконанні роботи.
- **основні задачі**, що мають вирішуватися в роботі (2-3 задачі, які будуть докладно розглянуті в роботі).
- **основні технічні вимоги**, яким має відповідати робота (сформулювати більш детально вимоги, які мають бути виконані під час виконання роботи).

2. Зробити курсову роботу відповідно до вимогам технічного завдання та нижче сформульованим вимогам щодо очікуваних результатів.

Очікувані результати:

1. Зміст курсової роботи має відповідати меті та завданню та має бути оформлений відповідно до вимог Положення про дипломне проектування в національному авіаційному університеті.

2. Робота повинна містити технічне завдання, погоджене з викладачем.

3. Робота має містити титульний аркуш, зміст, вступ, не менше двох розділів, які складаються принаймні з двох підрозділів, висновки та перелік використаних джерел.

4. Робота повинна містити аналіз вимог вітчизняних та міжнародних нормативно-технічних документів в сфері аеродромних наземних електрифікованих візуальних засобів та системи їх електропостачання, розрахунок потужності кабельної лінії та перелік світло- та електротехнічного обладнання для синтезу підсистеми світлосигнальної системи аеродрому.

5. Робота може виконуватися студентами індивідуально або в групі (не більше трьох учасників). Номер варіанту обирається групою студентів самостійно, за спільною домовленістю, але оприлюднюється таким чином, щоб всі інші студенти, розуміли, що вказаний варіант вже зайнятий.

Вихідні дані:

1. Фізичні розміри ЗПС: варіанти 1-10 - довжина - 3500 м, ширина ЗПС 60 м, варіанти 11-20 - довжина - 3000 м, ширина ЗПС 45 м.

2. Номери варіантів та найменування підсистем містяться в таблиці нижче.

Номери варіантів та найменування підсистем:

№ варіанту	Найменування категорій та підсистеми ССА
1	Підсистема вогнів наближення центрального ряду з лінійними вогнями та одним світловим горизонтом I категорії (довжина 900 м).
2	Підсистема вогнів наближення центрального ряду з кодуванням відстані по центральному ряду та п'ятьма світловими горизонтами I кат. (довжина 900 м)
3	Підсистеми вхідних вогнів злітно-посадкової смуги I категорії.
4	Підсистема бічних вогнів злітно-посадкової смуги I категорії.
5	Підсистема осьових вогнів злітно-посадкової смуги II категорії (інтервали між вогнями 15 м)
6	Підсистема вогнів зони приземлення злітно-посадкової смуги II категорії.
7	Підсистема бічних вогнів наближення до злітно-посадкової смуги II категорії (ділянка 300 м).
8	Підсистема бічних вогнів руліжної доріжки в складі світлосигнальної системи I категорії (довжина руліжної доріжки 1000 м).
9	Підсистема осьових вогнів руліжної доріжки ССА III категорії (довжина руліжної доріжки 1500 м).
10	Підсистема вогнів наближення простої світлосигнальної системи (типу ВМІ), довжина 720 м.
11	Підсистема вогнів ЗПС типу ВМІ (вхідні, бічні, обмежувальні вогні).
12	Підсистема вогнів візуальної індикації глісади типу РАРІ.
13	Підсистема обмежувальних вогнів злітно-посадкової смуги I категорії.
14	Підсистема вогнів швидкого зходу з ЗПС (осьові руліжні вогні на ЗПС) (довжина 500 м).
15	Підсистема вогнів зони приземлення злітно-посадкової смуги II категорії (спрощена конфігурація)

16	Підсистема бічних вогнів наближення до злітно-посадкової смуги II категорії (ділянка 300 м, спрощена конфігурація)
17	Підсистема вогнів наближення центрального ряду з кодуванням відстані по центральному ряду та п'ятьма світловими горизонтами I кат. (довжина 720 м, спрощена конфігурація)
18	Підсистема осьових вогнів злітно-посадкової смуги II категорії (інтервали між вогнями 15 м)

3. Для розрахунку потужності кабельних ліній системи електропостачання ССА користуватися відповідною Методикою, що додається.

4. Захист курсової роботи виконується після врахування та виправлення всіх зауважень. Максимальна оцінка, яка може бути отримана студентом – 100 балів.

Методика визначення електричної потужності кабельних ліній для електропостачання підсистем аеродромних вогнів з послідовним електропостачанням від регуляторів яскравості

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

Визначення електричної потужності кабельних ліній аеродромних вогнів проводиться виходячи з вихідних даних, що представлені у таблиці 1.

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

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

Номінальне діюче значення струму кабельної лінії приймається рівним 6,6 А. Сполучний високовольтний кабель типу ЛКСМ, 1,0×6,0 мм², 5 кВ, перетином 6,0 мм² погонним активним опором 3,08 Ом/км при температурі 20° С.

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

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

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;

У підсистемах ССА для електропостачання вогнів можуть використовуватися універсальні ізолювальні трансформатори однієї номінальної потужності – 150,0 ВА.

Тому вищенаведена формула має наступний вид:

$$U_{\text{кл}} = \sqrt{(n_{150} U_{150} + \Delta U_r)^2 + \Delta U_L^2},$$

де n_{150} – кількість ізолювальних трансформаторів, потужністю 150 ВА (універсальний трансформатор), шт.;

U_{150} – діючі значення напруги на первинних обмотках ізолювальних трансформаторів відповідної потужності, В;

Напруга U_I (В) на первинній обмотці ізолювального трансформатора визначається за формулою:

$$U_I = \frac{S_{\text{ит}}}{I_{\text{кл}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta},$$

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

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

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

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

Коефіцієнт корисної дії та еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювального трансформатора для номінального режиму складає відповідно: 0,9 та 0,97.

Втрати напруги ΔU_r на активному опорі кабелю визначаються за формулою:

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

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

l – довжина кабелю, км.

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

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

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

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

де L_{KL} – індуктивність кабельної лінії;

f – частота мережі.

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

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

де μ_0 – магнітна константа, чисельне значення якої є:

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

де l – довжина відрізка, м;

r_0 – радіус струмоведучої жили, м.

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

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

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

$$S_{РЯ} = U_{KL} \cdot I_{KL}.$$

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

Вихідні дані та результати розрахунку потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів, що мають бути встановлені представлені у таблицях 1 і 2.

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

В якості прикладу використовується підсистема глісадних вогнів ЗПС. Вихідні дані для визначення потужності кабельних ліній підсистем аеродромних вогнів та вибору регуляторів яскравості представлені у таблиці 1.

Для електропостачання підсистеми глісадних вогнів з обох напрямків посадки використовується сполучний високовольтний одножильний кабель типу СНАУ, $1,0 \times 6,0 \text{ мм}^2$, 5,0 кВ, перетином $6,0 \text{ мм}^2$, погонним активним опором 3,08 Ом/км при температурі 20°C та ізолювальні трансформатори типу

КР 551.ЕТ номінальною електричною потужністю 200,0 ВА, номінальним пе-

рвинним струмом 6,6 А та номінальним вторинним струмом 6,6 А. Коефіцієнт корисної дії та еквівалентний коефіцієнт потужності ізолювального трансформатора для номінального режиму складає відповідно: 0,9 та 0,97.

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів ШЗПС.

№	Найменування підсистеми вогнів	Довжина КЛ, метр	Кількість вогнів, шт.	Номінальна потужність ламп у вогнях, Вт.	Номінальний струм РЯ, А	Тип і номінальна потужність РЯ, кВА	Використання на потужність, кВА
1	Підсистема глісадних вогнів ШЗПС з МК _{пос.} -101°	3630	8	200,0	6,6	ЗКРТ-7 (або РЯ іншого виробника)	
	Фідер № 1, ТП-2					3,0	3,0
2	Підсистема глісадних вогнів ШЗПС з МК _{пос.} -281°	1500	8	200,0	6,6	ЗКРТ-7 (або РЯ іншого виробника)	
	Фідер № 2, ТП-2					3,0	3,0

Приклад результатів розрахунків потужності кабельних ліній підсистем глісадних вогнів ШЗПС

Результати розрахунків потужності кабельних ліній для електропостачання підсистеми глісадних вогнів ШЗПС представлені у таблиці 2.

Таблиця 2. Результати розрахунків потужності кабельних ліній підсистеми глісадних вогнів ЗПС із високовольтним кабелем типу СНАУ, 1,0×6,0 мм², 5,0 кВ, перетином 6,0 мм².

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

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

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

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

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

Рекомендована література для виконання курсової роботи

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

2. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 4. Visual Aids. ICAO International Standards and Recommended Practice, 5th edition, 2020.

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

4. Швець, С. М. Візуальні засоби забезпечення польотів [Текст]: навчальний посібник / С. М. Швець, О. О. Дубина, В. А. Іванов. – Київ: НАУ, 2019. – 492 с.