

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**бакалавр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Обґрунтування доцільності застосування напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації**

Виконав: студент 4 курсу, групи **ЕТс-41**

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<b>Титор І.Я.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Козак К.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Вакуленко О.О.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Тарасенко М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<b>Сіткар О.А.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

« 08 » лютого 2021 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва)

студенту Титору Івану Якубовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування доцільності застосування напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації

Керівник роботи Козак Катерина Миколаївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 26 січня 2021 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом роботи 18 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика основних типів транспортних і пішоходних світлофорів. Електричні схеми живлення світлофорних точок. Електричні характеристики світлодіодів типу OVLFx3C7.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Проектно-конструкторський розділ.

3. Розрахунковий розділ.

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Будова і принцип дії світлодіода.

2. Будова і технічна характеристика світлофора на лампах розжарення та світлодіодах.

3. Характеристика джерела світла світлодіодного світлофора.

4. Електричні схеми живлення світлових точок світлодіодного світлофора.

5. Часові діаграми режимів функціонування світлодіодного світлофора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності та основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри МТ Гурик О.Я.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>ст. викл. кафедри ЕІ Вакуленко О.О.</i>		

7. Дата видачі завдання

08 лютого 2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	08.02.21 – 18.03.21	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	19.03.21 – 22.05.21	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності та основи ОП»	23.05.21 – 01.06.21	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	02.06.21 – 07.06.21	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	08.06.21 – 12.06.21	
6	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	12.06.21 – 18.06.21	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Титор І.Я.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Козак К.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс – 41. - Т. : ТНТУ, 2021.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 72 сторінки. В роботі міститься 23 рисунки, 13 таблиць, 24 літературних джерела, виконано 17 аркушів презентації.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Обґрунтування доцільності застосування напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації».

Об'єктом дослідження є напівпровідникові джерела світла та їх застосування в системах дорожньої сигналізації.

Метою роботи стало обґрунтування доцільності застосування сигнальних систем дорожньої сигналізації на основі світлодіодів з врахуванням комплексу наукових та технологічних проблем.

Перелік ключових слів:

**СИСТЕМА ДОРОЖНЬОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ТЕПЛОВЕ ДЖЕРЕЛО СВІТЛА, ЛАМПА РОЗЖАРЮВАННЯ, ГАЛОГЕННА ЛАМПА, НАПІВПРОВІДНИКОВЕ ДЖЕРЕЛО СВІТЛА, СВІТЛОДІОД, СВІТЛОФОР, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.**

## ЗМІСТ

	с.
<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	10
1.1 Аналіз росту ефективності різних технологій освітлення за час свого розвитку.....	10
1.2 Оцінка ефективності застосування теплових джерел світла в системах дорожньої сигналізації.....	14
1.3 Постановка задачі до проектування і обґрунтування вибраного напрямку дослідження.....	23
<b>2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	28
2.1 Ефективність використання напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації.....	28
2.2 Характеристика світлофорів на світлодіодах.....	36
2.3 Алгоритм роботи світлодіодного світлофора.....	38
2.4 Вибір надяскравих світлодіодів для світлофорної світлової апертури.....	40
2.5 Електричні схеми ввімкнення світлодіодів.....	46
2.6 Висновки до розділу 2.....	48

<b>3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	49
3.1 Розрахунок понижуючого трансформатора для схеми живлення.....	49
3.2 Розрахунок економічної ефективності від впровадження енергоефективної системи дорожньої сигналізації .....	56
3.2.1 Розрахунок потужності, що споживається світловою точкою.....	57
3.2.2 Розрахунок економічного ефекту від заміни теплових джерел світла на світлодіоди.....	57
3.3 Висновки до розділу 3 .....	61
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b> .....	62
4.1 Заходи щодо захисту системи дорожньої сигналізації, що проектується, від короткого замикання і перенавантаження .....	62
4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок.....	64
4.3 Вимоги пожежної безпеки до електрообладнання .....	66
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	68
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	70

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГЛР	Галогенна лампа розжарювання
ГДВ	Гранично допустимі викиди
ГДК	Гранично допустима концентрація
ДС	Джерело світла
ЕУ	Електроустановка
ІЧ	Інфрачервоний
ККД	Коефіцієнт корисної дії
ЛЛ	Люмінесцентна лампа
ЛР	Лампа розжарювання
МКО	Міжнародна комісія з освітленості
НС	Надзвичайна ситуація
ОГД	Об'єкт господарської діяльності
ПУ	Протирадіаційне укриття
САПР	Система автоматизованого проектування
СД	Світлодіод
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Першою областю масового застосування нових СД стала дорожня сигналізація. Практично одночасно в США, Японії і ряді європейських країн з'явилися вуличні світлофори на СД за світлотехнічними параметрами (силою світла, кольоровістю випромінювання і куту випромінювання) перевищували існуючі. По економічності світлофори зі СД економніші традиційних світлофорів з ЛР в декілька разів, а по терміну служби - у сотні разів.

В серпні 1995 р. світлофори із СД з'явилися на вулицях Москви, вже на сьогоднішній день такими світлофорами обладнані практично усі вулиці і площі в межах Садового кільця.

Для автодорожніх світлофорів характерні наступні параметри: кут випромінювання  $30^\circ$  (за рівнем 0,5), осьова сила світла не менш 80 кд, термін експлуатації (без обслуговування) - 15 років і більше. Незважаючи на те, що вартість світлофорів із СД сьогодні у 2 - 4 рази вище, ніж з ЛР вони цілком конкурентноздатні і окупаються за один - три роки.

Створено також і стрілкові світлофори синього кольору з кутом випромінювання близько  $9^\circ$  (за рівнем 0,1) і осьовою силою світла до 120 кд, такі типи світлофорів застосовуються на залізничному транспорті. Потужність, споживана залізничними світлофорами – від 0,6 Вт для стрілкових синього кольору до 5 Вт для жовтого кольору.

Особливо перспективне використання СД у плаваючих маяках, бакенах і сигнальних вогнях з автономними джерелами живлення на річковому транспорті, тому що менше енергоспоживання СД дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати, і відповідно зменшити термін окупності до одного року.



Мала інерційність СД дає їм перевагу перед ЛР при використанні їх у задніх вогнях автомобілів, в перспективі також у габаритних вогнях, покажчиках поворотів, заднього ходу і т.п.

Параметри сучасних СД роблять їх конкурентноздатними в багатьох світлосигнальних пристроях аеродромів (оглядові вогні, світлові покажчики, посадкові вогні і т.п).

Однак крім світлосигнальної апаратури різного призначення, СД вже сьогодні розглядаються і як ДС в традиційному розумінні, тобто як засоби освітлення або опромінення тих або інших об'єктів.

Характерний у цьому відношенні великий інтерес, що проявляється до СД у NASA (Національному агентстві по аеронавтиці і дослідженню космічного простору США). Так, ще в 1991 р. за завданням NASA американськими вченими були проаналізовані можливості використання СД для опромінення рослин в умовах космічних польотів. Використовувалися СД на арсеніді галію і алюмінію з  $\lambda_{\max} = 660$  нм (корпус діаметром 5 мм, кут випромінювання  $8^\circ$ ). Площу  $19 \times 35$  см<sup>2</sup> опромінювали 540 СД. Потужність, споживана СД, складала близько 50 Вт. Через відсутність у той час СД із випромінюванням у короткохвильовій (синій) області спектра, додатково до червоного випромінювання СД рослини опромінювалися блакитною люмінесцентною лампою F20 T12/246, з діапазоном випромінювання 400 - 500 нм. Сумарне опромінення на рівні ґрунту складало близько 60 Вт ФАР/м<sup>2</sup>, при цьому частка опромінення від люмінесцентної лампи - близько 6 Вт ФАР/м, тобто приблизно 10 % від загального опромінення.

Рівень освітленості від світильника із СД поки що помітно нижче, ніж від світильників із традиційними ДС. Однак висока надійність, «нешкідливість» і простота таких світильників вже сьогодні дозволяють говорити про реальність і перспективність використання СД не тільки у світлосигнальних пристроях, засобах відображення інформації і світловій рекламі, але й у звичайних освітлювальних приладах, особливо для місцевого освітлення.

СД з випромінюванням у ІЧ діапазоні, сьогодні широко використовуються в пультах дистанційного керування телевізорів і іншій радіоапаратурі. Мала інерційність СД дозволяє моделювати їх випромінювання з частотою до десятків мегагерц і тим самим передавати широку гаму команд і сигналів. Ця властивість СД в поєднанні з малими розмірами випромінюючого тіла, що дозволяє концентрувати випромінювання у вузькі пучки (до десятків кутових хвилин).

Варто очікувати, що вже у найближчі роки параметри СД підвищаться в декілька разів, а вартість їх помітно знизиться. Це може призвести до того, що СД стануть конкурентноздатними ДС не тільки в таких, поки ще екзотичних областях, як космонавтика, але й у повсякденному житті.

**Метою кваліфікаційної роботи** є створення високоефективного світлофорного обладнання, світлові характеристики якого були б значно кращими від існуючих, а споживання електроенергії значно нижчим. Розробка такого обладнання стала можливою при застосуванні СД.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 72 арк. формату А4, графічна частина – 17 аркушів презентації.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз росту ефективності різних технологій освітлення за час свого розвитку

Останнім часом споживачів все більше хвилює проблема вибору, що краще: лампи розжарювання, галогенні, люмінесцентні чи світлодіоди?

Що вважається головною характеристикою лампи? Складне питання. Споживач при купівлі лампи задає два питання: яке буде споживання і скільки коштує. А фахівцеві важливо враховувати і інші параметри. Тому в першому розділі дипломного проекту ми представимо основні характеристики ламп розжарювання, галогенних ламп і СД, проведемо оцінку їх застосування в світлофорному обладнанні, адже саме ці типи ДС, крім останніх, довгий час традиційно використовувались в світлофорному устаткуванні, а СД прийшовши на ринок освітлення в першу чергу знайшли своє застосування в світло-індикаторному обладнанні.

Якщо почати порівнювати існуючі ДС, то як це зробити? При порівнянні за світлотехнічними параметрами потрібно враховувати: ефективність лампи, ефективність пристрою запуску, ефективність оптичної системи, термін служби і в результаті порівняти освітленість на поверхні, як результат освітлення. А для комплексної оцінки і повного порівняння потрібно врахувати витрати на обслуговування і додаткові матеріали, електроенергію та утилізацію ламп. Треба врахувати, що в таблиці вказана максимальна ефективність (вироби дешевшої цінової категорії часто реально мають набагато більш низькі значення). Термін служби представлений двома значеннями - перше термін служби до відмови лампи, а в дужках зазначено термін при якому світловий потік падає на 30%.

Таблиця 1.1 – Порівняння ефективності різних джерел світла

Джерело світла	Ефективність, Лм/Вт	Термін служби, год.	ККД пристрою запуску
Лампа розжарювання	8-12	1000 (600)	-
Галогенна лампа	14-16	2000 (1000)	-
Компактна люмінісцентна лампа	45-60	8000 (6000)	0,8-0,85
ДРЛ	50-60	4000 (2000)	0,85
Люмінісцентна лампа	60-70	8000 (6000)	0,8-0,9
ДНаТ	100-120	30000 (8000)	0,85
Світлодіод LED	100-130	100 000 (50 000)	0,95

Питання про альтернативні вискоефективні ДС, здатні задовольнити попит, не наращуючи витрат на виробництво і споживання електричної енергії постає дуже гостро.

Розглядаючи двохсотрічну історію освітлення яка схематично показана на рисунку 1.1, де на осі ординат відкладено значення світлової ефективності в лм/Вт. Права вісь відображає відповідну ефективність перетворення енергії джерела білого світла світлодіодів трьох кольорів з середньою кольоропередачею (CRI = 80) і відносно теплою кольоровою температурою (CCT = 3900 °K) для такого світлодіода значення 400 лм/Вт відповідає 100 % ККД перетворення енергії.

Три традиційні технології світлотехніки засновано на використанні:

- 1) вогню, теплового випромінювання;
- 2) флуоресценції;
- 3) газового розряду високої інтенсивності.

Ці три традиційні технології за останні 200 років досягли значного успіху, проте їх ККД лежить в діапазоні 1 – 25%.

Нова, четверта технологія це напівпровідникова світлотехніка. В принципі, ця технологія проста: електрони і дірки вводяться в область позитивно зміщеного напівпровідникового р-n-переходу; вони рекомбінують, випромінюючи фотони; ці фотони або змішуються з фотонами інших частот від інших світлодіодів, або піддаються понижуючому їх енергію впливу за допомогою люмінофорів або інших матеріалів.

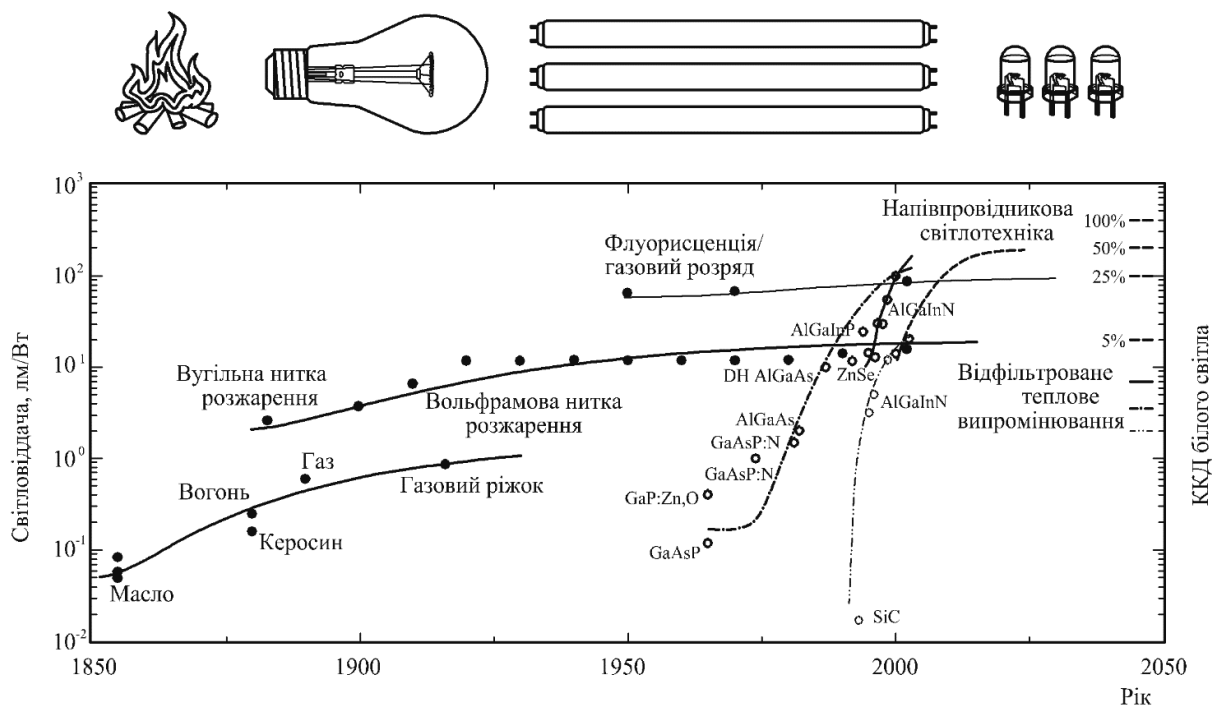


Рисунок 1.1 – 200 років розвитку ефективності різних технологій освітлення

На практиці, на кожному етапі цього кола відбувалися зміни, і досягнення позитивного ККД напівпровідникових матеріалів в порівнянні з іншими виявилось серйозною проблемою. Проте сьогодні технологія СД інтенсивно і успішно розвивається, особливо в частині монохромних ламп червоної, зеленої і голубої частини спектру.

Прогноз для білих СД показаний на рисунку 1.1. пунктирною лінією. Згідно цьому прогнозу, ККД перетворення енергії до 2020 р. досягне 50%. Такий сценарій, описаний в останньому плані розвитку технології СД, помітно, що план був розроблений за умови, що починаючи з 2002 р. значні інвестиції на

державному рівні будуть направлені на ключові напрями науки і техніки і зокрема на розвиток напівпровідникових ДС.

Головними умовами нових джерел є невеликий розмір ламп, довговічність і низьке енергоспоживання. Саме СД що відповідають всім цим вимогам, вважаються основними претендентами на заміну ЛР і ЛЛ. В той час, як всі існуючі на сьогоднішній день ДС досягли своєї максимальної світлової ефективності, світлодіоди наблизилися тільки до 10 % своїх можливостей, порівняння існуючої і прогнозованої ефективності різних ДС можна проілюструвати з допомогою рисунку 1.2.

Подібний висновок базується на фундаментальних принципах фізичної теорії напівпровідників. В другій частині розділу ми докладно проаналізуємо переваги та недоліки застосування різних ДС в системах дорожньої сигналізації, тому зараз зупинимося, з нашої точки зору, на найбільш ключових моментах.

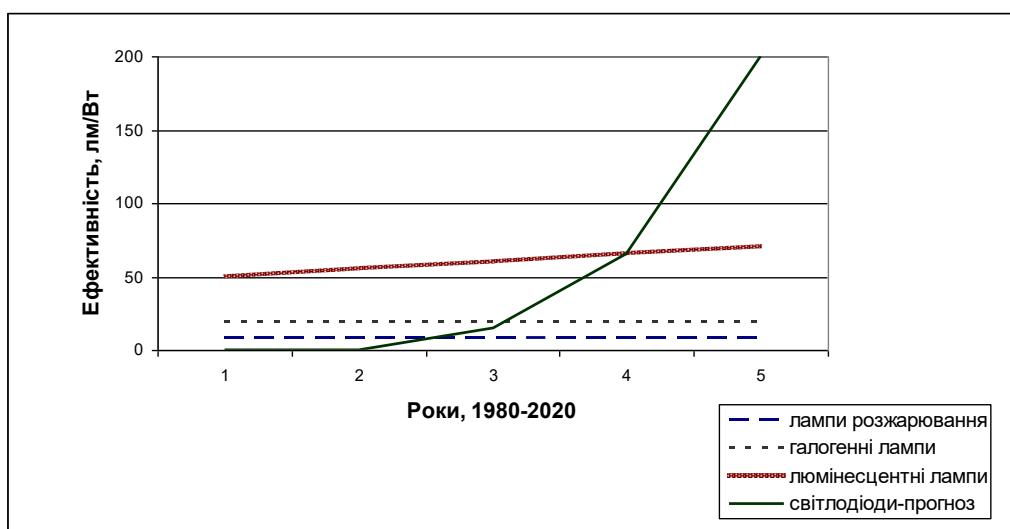


Рисунок 1.2 – Порівняння існуючої і прогнозованої ефективності різних ДС

Основними перевагами світлодіодів перед ЛР є довший термін служби, більш високий світловий вихід, безпека, відсутність нагрівання. СД випромінюють чисте біле світло, в той час як ЛР можуть мати випромінювання і в інфрачервоному спектрі. Майже 95 % електроенергії ЛР витрачається на тепло,

тому для приміщень, в яких використовується велика кількість ЛР потрібно проводити додаткові роботи по кондиціонуванню і охолодженню. ЛР споживають на 80 % більше електроенергії, ніж СД.

Порівнюючи СД з люмінесцентними лампами (ЛЛ) не можна говорити однозначно про перевагу перших. На сьогодні світлова ефективність білих СД вдвічі менша, ніж у ЛЛ, а ціна - вища. Тут в першу чергу слід врахувати той факт, що для більшості випадків застосування ЛЛ, з технічної точки зору і умов експлуатації вигідніше і безпечніше використовувати саме СД. Наприклад, у вуглевидобувних шахтах використовуються так звані «вибухобезпечні» ЛЛ, які працюють від напруги у 127 В. Якщо відбувається кидок напруги (рядовий випадок для забоїв і шахт), ЛЛ гасне негайно. Так само лампи реагують на відхилення від норм експлуатації - при трясці або зниженні температури повітря. Крім того, використані ЛЛ після завершення терміну експлуатації повинні бути піддані обов'язковій утилізації, вартість утилізації 1 т ЛЛ складає 300 доларів США, неважко підрахувати, що щорічні витрати тільки на утилізацію ЛЛ повинні становити близько 700 000 доларів.

Також цілком очевидно, що на практиці термін служби ЛЛ і особливо ЛР є значно коротше терміну, зазначеного виробником. Це пояснюється тим, що найчастіше умови їх експлуатації не відповідають нормативам - якщо змінюється напруга мережі або температура навколишнього середовища, чи ДС піддають випадковим механічним впливам, лампи перегорають або б'ються набагато частіше, ніж можна припускати. СД, як твердотільні ДС, не містять скла, тіла розжарювання або змінних деталей, їх неможливо розбити.

## **1.2 Оцінка ефективності застосування теплових джерел світла в системах дорожньої сигналізації**

За принципом перетворення електричної енергії в світлову всі ДС розділяються на два класи:

1. Теплові.
2. Газорозрядні.

У теплових джерелах світло випромінює тіло розжарювання, що розігрівається під впливом проходячого через нього електричного струму.

До теплових джерел відносяться:

- лампи розжарювання (ЛР);
- галогенні лампи розжарювання (ГЛР).

Клас газорозрядних ДС різноманітніший, ніж теплових, але в світлоформному обладнанні цей клас ламп набув меншого розповсюдження чим в інших сферах, тому в дипломному проекті про газорозрядні лампи ми будемо згадувати тезисно в якості довідкової інформації, чи невід'ємної частини систем освітлення.

ЛР (рисунок 1.3) мають і ряд переваг перед газорозрядними ДС: вони значно дешевші й екологічно чистіші, прості в обслуговуванні, включаються в мережу без додаткових пристроїв, малочутливі до температури навколишнього середовища, добре працюють в динамічному режимі, мають відносно невеликі розміри і тіло розжарювання, відрізняються різноманітністю модифікацій, малими первинними витратами, високим рівнем механізації виробництва.

Поряд з перевагами ЛР на фоні газорозрядних ламп мають і суттєві недоліки – насамперед низьку світлову віддачу, частка світлового потоку ЛР складає сьогодні всього лише 30 % (70 % - газорозрядні лампи). Основні правила експлуатації ЛР передбачають використання ламп для тих цілей і в тих світлових приладах для яких вони призначенні.

Будова і принцип дії ЛР залишилася такою ж, як запропонував Едісон, тільки для підвищення температури тіла розжарювання і зниження швидкості його розпилювання (це основні способи збільшення світлової віддачі і терміну служби ЛР) замість вугільної нитки в сучасних лампах використовуються спіральне або біспіральне (спіраль із спіралі) вольфрамове тіло розжарення, а в





Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд ЛР загального призначення

Необхідною і найбільш важливою умовою експлуатації ЛР є повна відпо-відність напруги лампи, до вказаної напруги мережі. У зв'язку з наявністю підвищеної напруги в мережі, розроблені і випускаються ЛР загального призначення на підвищену напругу.

ЛР нормального освітлення розраховані для роботи при відносній вологості не більше 98 %, в інтервалі температур від  $-60$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , і при зовнішньому тиску 730-1050 гПа ( 550-788 мм рт . ст ). Для ряду спеціальних ламп ці інтервали ширші.

В ЛР джерелом світлового випромінювання є вольфрамова нитка розжарення, яка дає 10 – 15 % випромінювання в видимій області спектра. З підвищенням температури нитки розжарення збільшується кількість видимого випромінювання, підвищується економічність лампи.

Але не все світлове випромінювання сприймається однаково оком людини, тому світловий к.к.д. ЛР дуже малий 1 - 4%.

Хоча температура плавлення вольфраму достатньо висока ( $3400^{\circ}\text{C}$ ), для уникнення інтенсивного випарювання нитки розжарення доводиться знижувати її температуру до  $2300 - 2800^{\circ}\text{C}$ . Світлова відда. ЛР при таких температурах коливається від 6 до 20 лм/Вт. Під дією високої температури має

переважній більшості типів ламп замість вакууму застосовується інертний газ: аргон або криптон. За більш ніж 120 літній період було створено величезну кількість ЛР від мініатюрних ламп для кишенькового ліхтарика до півкіловатних прожекторних.

Використовують ЛР там, де до освітлення не пред'являють особливих вимог, а споживання енергії та термін служби не є визначальними факторами.

місце поступове випарювання вольфраму нитки розжарення і як наслідок, збільшення її електричного опору, зменшення струму і, відповідно, температури розжарення нитки та світлового потоку. Виготовляються ЛР на всі стандартні напруги до 220 В і потужністю до 1000 Вт.

Усе різноманіття ламп розжарення (білше 1500 найменувань) можна класифікувати за певними ознаками.

ЛР найчастіше класифікують по:

- ✓ призначенню;
- ✓ конструктивно-технологічним ознакам.

З точки зору призначення ЛР поділяють на лампи загального призначення і спеціальні. При більш детальній класифікації виділяють наступні групи ламп:

1. Загального призначення;
2. Місцевого освітлення;
3. Транспортні;
4. Для сигналізації і індикації;
5. Для оптичних систем і приладів;
6. Метрологічні;
7. Для технологічних цілей ;
8. Для спеціальних світлотехнічних систем і установок із спеціальними вимогами.

Конструкція колби визначає характер обладнання, оскільки від нього залежить розмір і конструкція ніжки тіла розжарення, електродів, цоколя. ЛР можна класифікувати і за іншими ознаками, наприклад по потужності чи напрузі.

По характеру середовища, що оточує тіло розжарення лампи поділяються на: вакуумні, газоповні, галогенні.

Класифікація можлива також по конструкції ніжки, тіла розжарення, тримачів, впаїв у скло, марках колбового скла та ін.

Електричні параметри характеризують лампу, як споживача електричної енергії і визначають можливість її підключення до джерел живлення.

В основі конструкторсько-технологічної класифікації ламп розжарення покладені різні ознаки. Конструкція підвісного патрона із вкрученою лампою показано рисунок 1.4.

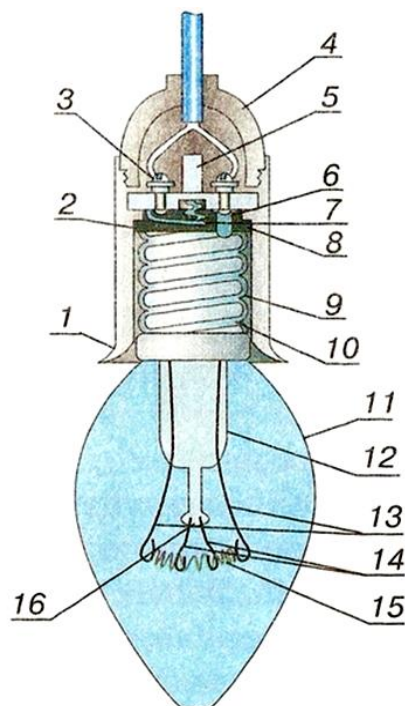


Рисунок 1.4 – Конструкція патрона із вкрученою лампою

1 - корпус; 2 - центральний контакт; 3 - затискний гвинт; 4 - кришка; 5 - осердя; 6 - боковий контакт осердя; 7 - центральний контакт лампи; 8 - ізоляційна речовина; 9 - різьбовий контакт корпусу; 10 - цоколь; 11 - скляна колба; 12 - скляна ніжка; 13 - металеві траверси; 14 - тримачі; 15 - вольфрамова нитка (спіраль); 16 - скляна лінза.

Проблема підвищення світлової віддачі без зменшення терміну служби лампи залишається актуальною, навіть часткове вирішення її дає в масштабах країни велику економію електроенергії.

ЛР які використовуються в світлофорах відносяться до групи ламп загального призначення і практично нічим не відрізняються від ламп які використовуються

товуються в побуті. Лампи Г 245-255-100С використовуються в дорожніх світлофорах і відрізняються лише підвищеною міцністю до механічних навантажень. Середня тривалість світіння таких ламп – 1800 год. Вартість лампи на кінець 2010 р., 5 грн. за одну штуку. Характеристика лампи Г 245-255-100С представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика лампи Г 245-255-100С

Тип лампи	Напруга, В	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Розміри		Тип цоколя
				D	L	
Г 245-255-100С	250	100	1100	115	60	E27, B22d

Ще один вид теплових ДС це галогенні лампи розжарювання (ГЛР). ГЛР є перспективним різновидом ЛР. Вони заповнені галогенами (фтор, бром, хлор, йод). Широке поширення ці лампи одержали відносно недавно. Внаслідок того що, ГЛР є лише модифікованим варіантом звичайних ЛР їх властивості в основному подібні. За рахунок використання галогенного циклу досягнуто лише дві переваги над вакуумними і газонаповненими ЛР, а саме:

- ✓ збільшена світлова віддача;
- ✓ довший термін служби.

Крім того за рахунок більш високої температури спіралі ці лампи дають світло холоднішого відтінку чим ЛР.

Світлова віддача ГЛР приблизно в два рази вища, чим у стандартних ЛР тієї ж потужності і становить 20 – 25 Лм/Вт.

Більшість ламп мають термін служби 2000 годин, тобто в два рази більший, ніж звичайні ЛР. Деякі типи ГЛР випускають з терміном служби 3000 і 4000 год. Енергоекономічність цих ламп в 1,5 - 2 рази вища, ніж в інших ЛР.

Інша важлива відмінність ГЛР полягає в тому, що колба виконана не із звичайного, а з кварцового скла, стійкішого до високої температури і хімічних взаємодій. Завдяки цьому розміри галогенних ламп можна зменшити в декілька

разів в порівнянні із звичайними лампами такої ж потужності. Будова дзеркальних галогенних ламп відрізняється тим, що дзеркальний відбивач разом з цоколем приклеєний до колби лампи. За рахунок використання в ГЛР кварцової колби ультрафіолетове випромінювання тіла розжарювання безпосередньо виходить на зовні, і потрібні спеціальні заходи по його блокуванню

Разом з лампами, розрахованими для безпосереднього включення в мережу з напругою 220, 127 або 110 В, широке застосування знаходять лампи низької напруги на 12 В. Ці лампи однаково добре працюють на змінному і постійному струмі.

За формою ГЛР поділяються на дві групи: з довгою спіраллю, розташованою по осі кварцової трубки (трубчасті або лінійні лампи), і лампи з контактним тілом розжарювання (дзеркальні, рефлекторні і т.п.) (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд деяких типів ГЛР

Термін служби ГЛР визначається моментом руйнування тіла розжарювання. Як вже згадувалось використання галогенного циклу дозволяє або збільшити світлову віддачу лампи в порівнянні з ЛР при збереженні того ж терміну служби (1000 год.), або відчутно збільшити термін служби (до 3000 – 4000 год.) при тих же світлових параметрах.

Галогенні лампи відносяться до ДС з теплою тональністю і більшою близькою, ніж звичайні ЛР, індекс кольоропередачі ГЛР близький до  $Ra = 100$ . За рахунок більш високої температури тіла розжарювання ( в порівнянні з

звичайними ЛР) світло ГЛР краще передає синьо - зелені кольори. Особливо привабливо сприймаються колір обличчя людини, колір меблів і поверхонь приміщення теплої і нейтральної гам. Проблеми можуть виникнути при освітленні робочих місць з дуже високими вимогами до перенесення кольорів (наприклад, підбір однакових за кольором зразків матеріалів: шкіри, тканин і т.п).

Експлуатаційні властивості ГЛР , крім вже описаних специфікацій, зачіпають ще два додаткових аспекти.

**По-перше**, ГЛР в одинарних кварцових колбах недопускають торкатися їх «голими руками». Це пояснюється особливістю кварцу кристалізуватись навколо інородних частинок. Виникнення таких ділянок кристалізації призведе до порушення однорідної структури стінок колби, через що лампа тріскається або взривається.

**По-друге**, моделі лінійних і спеціальних ламп не допускають змін в положенні світіння і вимагають спеціального розташування в світильнику. Наприклад лінійні ГЛР мають максимальний термін служби при горизонтальному положенні світіння. Це пов'язано з несиметричним закріпленням в колбі нитки розжарювання, і при її неправильній орієнтації вона може провисати, що приводить до перегорання лампи.

В якості спеціальних ГЛР, зокрема для світлофорного обладнання можна використати лінійні одноцокольні ГЛР з різьбовими цоколями, для включення в мережу 220 В. Для заміни ЛР були розроблені одноцокольні лампи з різьбовими цоколями в скляних колбах в яку було поміщено лінійну галогенну трубку. Асортимент таких ламп був спеціально розроблений для заміни ЛР такої ж потужності, загальний вигляд таких ламп показано на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд різних ГЛР з різьбовим цоколем

Замість традиційної колби, як у ЛР, в ГЛР з різьбовим цоколем застосовують колби різної форми в прозорому і матовому чи молочному виконанні. Через невеликі розміри внутрішньої трубки ці лампи нечуттєві до положення світіння.

Підсумовуючи можна окреслити основні переваги ГЛР порівняно з ЛР:

- ✓ більш ефективно претворюють енергію маючи при цьому більшу світлову віддачу в межах 20 – 25 Лм/Вт;
- ✓ мають в декілька разів більший термін служби до 3000 – 4000 год;
- ✓ випромінюють більш ярке біле світло і кращу кольоропередачу;
- ✓ випускаються в ширшому асортименті;
- ✓ більш компактні, тому створюють нові можливості використання.

На заміну ЛР в світлофорному господарстві можна застосовувати ГЛР з різьбовим цоколем. Лампи HalogenA Pro відносяться до групи двохколбових ГЛР які живляться від мережі 220 В і дають білий галогенний колір світіння. Колба такої лампи має тіж розміри, що і колба ЛР і випускаються з формами колб типу ВТТ 40 і ВТТ 46. Лампи HalogenA Pro випускаються на два терміни служби HalogenA Pro – 2000 год. і HalogenA Pro – 4000 год. Лампа може встановлюватись без додаткового захисту «голими руками» і мати будь - яке робоче положення. Вартість лампи на червень 2021 р., складає 71,4 грн. за одну штуку. Характеристика лампи HalogenA Pro представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристика лампи HalogenA Pro

Тип лампи	Напруга, В	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Розміри		Тип цоколя
				D	L	
HalogenA Pro 2	230	100	1550	47,3	109	E27
HalogenA Pro 4			1520			

### 1.3 Постановка задачі до проектування і обґрунтування вибраного напрямку дослідження

Першою областю масового застосування нових СД стала дорожня сигналізація. Практично одночасно в США, Японії і ряді європейських країн з'явилися вуличні світлофори на СД за світлотехнічними параметрами (силою світла, кольоровістю випромінювання і куту випромінювання) перевищували існуючі. По економічності світлофори зі СД економніші традиційних світлофорів з ЛР в декілька разів, а по терміну служби - у сотні разів.

В серпні 1995 р. світлофори із СД з'явилися на вулицях Москви, вже на сьогоднішній день такими світлофорами обладнані практично усі вулиці і площі в межах Садового кільця.

Для автодорожніх світлофорів характерні наступні параметри: кут випромінювання  $30^\circ$  (за рівнем 0,5), осьова сила світла не менш 80 кд, термін експлуатації (без обслуговування) - 15 років і більше. Незважаючи на те, що вартість світлофорів із СД сьогодні у 2 - 4 рази вище, ніж з ЛР вони цілком конкурентоздатні і окупаються за один - три роки.

Створено також і стрілкові світлофори синього кольору з кутом випромінювання близько  $9^\circ$  (за рівнем 0,1) і осьовою силою світла до 120 кд, такі типи світлофорів застосовуються на залізничному транспорті. Потужність, споживана залізничними світлофорами – від 0,6 Вт для стрілкових синього кольору до 5 Вт для жовтого кольору.



Особливо перспективне використання СД у плаваючих маяках, бакенах і сигнальних вогнях з автономними джерелами живлення на річковому транспорті, тому що менше енергоспоживання СД дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати, і відповідно зменшити термін окупності до одного року.

Мала інерційність СД дає їм перевагу перед ЛР при використанні їх у задніх вогнях автомобілів, в перспективі також у габаритних вогнях, покажчиках поворотів, заднього ходу і т.п.

Параметри сучасних СД роблять їх конкурентоздатними в багатьох світлосигнальних пристроях аеродромів (оглядові вогні, світлові покажчики, посадкові вогні і т.п).

Однак крім світлосигнальної апаратури різного призначення, СД вже сьогодні розглядаються і як ДС в традиційному розумінні, тобто як засоби освітлення або опромінення тих або інших об'єктів.

Характерний у цьому відношенні великий інтерес, що проявляється до СД у NASA (Національному агенстві по аеронавтиці і дослідженню космічного простору США). Так, ще в 1991 р. за завданням NASA американськими вченими були проаналізовані можливості використання СД для опромінення рослин в умовах космічних польотів. Використовувалися СД на арсеніді галію і алюмінію з  $\lambda_{\text{max}} = 660$  нм (корпус діаметром 5 мм, кут випромінювання  $8^\circ$ ). Площу  $19 \times 35$  см<sup>2</sup> опромінювали 540 СД. Потужність, споживана СД, складала близько 50 Вт. Через відсутність у той час СД із випромінюванням у коротко-хвильовій (синій) області спектра, додатково до червоного випромінювання СД рослини опромінювалися блакитною люмінесцентною лампою F20 T12/246, з діапазоном випромінювання 400 - 500 нм. Сумарне опромінення на рівні ґрунту складало близько 60 Вт ФАР/м<sup>2</sup>, при цьому частка опромінення від люмінесцентної лампи - близько 6 Вт ФАР/м, тобто приблизно 10 % від загального опромінення.

Рівень освітленості від світильника із СД поки що помітно нижче, ніж від світильників із традиційними ДС. Однак висока надійність, „нешкідливість” і простота таких світильників вже сьогодні дозволяють говорити про реальність і перспективність використання СД не тільки у світлосигнальних пристроях, засобах відображення інформації і світловій рекламі, але й у звичайних освітлювальних приладах, особливо для місцевого освітлення.

СД з випромінюванням у ІЧ діапазоні, сьогодні широко використовуються в пультах дистанційного керування телевізорів і іншій радіоапаратурі. Мала інерційність СД дозволяє моделювати їх випромінювання з частотою до десятків мегагерц і тим самим передавати широку гаму команд і сигналів.

Ця властивість СД в поєднанні з малими розмірами випромінюючого тіла, що дозволяє концентрувати випромінювання у вузькі пучки (до десятків кутових хвилин), визначило ще одну область застосування СД - оптичний зв'язок з відкритим оптичним каналом. Використання відкритого оптичного каналу замість волоконної оптики робить системи оптичного зв'язку на СД винятково надійними, безперебійними і мобільними.

Дуже широкою областю застосування СД є світлова реклама, особливо динамічна з комп'ютерним керуванням.

Поява високоефективних СД з випромінюванням у синьо - зеленій області спектра відкрило ще одну перспективну область їх використання - створення світлодіодних телевізійних екранів з високою якістю передачі кольору. Роботи в цьому напрямку активно ведуться, зокрема, у Японії.

Варто очікувати, що вже у найближчі роки параметри СД підвищаться в декілька разів, а вартість їх помітно знизиться. Це може призвести до того, що СД стануть конкурентоздатними ДС не тільки в таких, поки ще екзотичних областях, як космонавтика, але й у повсякденному житті.

Отже порівнявши СД з тепловими ДС зокрема ЛР і ГЛР та провівши оцінку ефективності застосування СД в системах дорожньої сигналізації можна зробити наступні висновки:

1. Завдяки розвитку новітніх технологій у галузі напівпровідникової світлотехніки з'явилась можливість створення світлофорного устаткування на основі СД.

2. ЛР і ГЛР мають низький ККД і термін служби від 1000 до 4000 год., тоді як у світлодіодів ККД – 60 - 70 %, а термін служби 100 000 год.

3. СД дозволяють одержувати необхідний спектр випромінювання, при цьому вся електроенергія використовується тільки на одержання випромінювання в заданому вузькому діапазоні.

4. У ЛР, співвідношення інтенсивностей випромінювання червоної та синьої частини спектру є величиною постійною, тоді як у СД випромінювачі за кожну частину спектру відповідає своя група СД, що дає можливість окремо керувати інтенсивністю випромінювання у кожній частині спектру.

5. Менше енергоспоживання СД і великий термін служби дозволяють значно зменшити експлуатаційні витрати, і відповідно зменшити термін окупності виробів.

6. Екологічно чисте виробництво СД, відсутність проблем з утилізацією а також висока стійкість СД до механічних пошкоджень і робота в широкому діапазоні температур ставлять СД на перше місце серед ДС які можуть використовуватись у системах дорожньої сигналізації.

Основною метою при виборі даного напрямку дослідження є досягнення максимального ефекту економії електроенергії. Так, як зазначалось раніше, на теперішній час проблема енергозбереження є однією з найглобальніших проблем людства.

Основною задачею даного проекту є обґрунтування доцільності застосування високоефективного світлофорного обладнання, та порівняння ефективності заміни теплових ДС на напівпровідникові. Оскільки світлодіоди працюють на постійному струмі та при досить низькій напрузі, та малих струмах, а живлення світлофорного поста буде здійснюватися від мережі змінного струму напругою 220 В, при частоті 50 Гц, необхідно розрахувати

трансформатор для живлення світлофорних точок, що складаються з 120 світлодіодів. Автоматичне перемикання сигналів світлофора буде здійснюватися за допомогою контролера УК-2 ЗФ2.556.001, який використовується в звичайних світлофорах на ЛР.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Ефективність використання напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації

Щоб зрозуміти, чому світлодіодам пророкують велике майбутнє, розглянемо докладніше їх будову, історію створення і розвитку.

Світлодіод, як відомо, – це напівпровідниковий прилад, який випромінює світло при проходженні через нього електричного струму. Основна його частина – кристал напівпровідника розміром з макове зернятко, який, в свою чергу, складається щонайменше з двох напівпровідників різного типу провідності (р- і n-тип). Контакт між цими напівпровідниками, так званий р-n-перехід, і є, власне генератором світлового випромінювання рисунок 2.1.

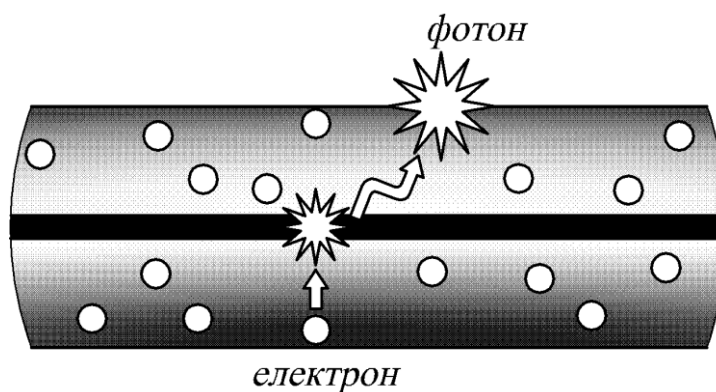


Рисунок 2.1 – Генерування світлового випромінювання в р-n-переході.

Кристал розташовується на корпусі (підкладці) і закривається прозорою лінзою з епоксидної смоли. До обох частин кристалу під'єднують провідники – катод та анод, конструкцію СД показано на рисунку 2.2.

На відміну від ЛР, в яких електричний струм спочатку розігріває вольфрамову нитку, що світиться при певній температурі, у СД енергія електронів

безпосередньо перетворюється у світлову. Тому СД ще називають холодним твердотільним джерелом світла.

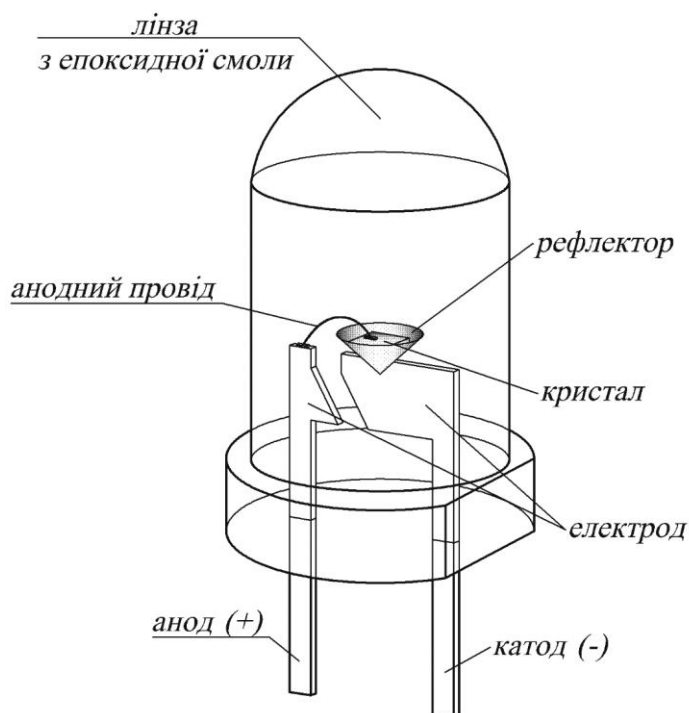


Рисунок 2.2 – Конструкція круглого світлодіода

На відміну від ЛР, в яких електричний струм спочатку розігріває вольфрамову нитку, що світиться при певній температурі, у СД енергія електронів безпосередньо перетворюється у світлову. Тому СД ще називають холодним твердотільним джерелом світла.

Вперше «цікаве явище» – світіння карборунду при прикладанні до нього електричної напруги описав Генрі Джозеф Раунд у Нью-Йоркському журналі *Electrical World* ще у 1907 році. Проте про нього згадали лише через 50 років у зв'язку з напівпровідниковими лазерами, і лише тоді почалося промислове виробництво СД. Світловіддача перших промислових СД зразка 60-х років минулого сторіччя була на рівні 0,1...0,2 лм/Вт. Про яке освітлення можна було говорити, коли відома всім звичайнісінька «лампочка Ілліча» мала світловіддачу у 100 разів вищу, не кажучи вже про ціну – вартість одного СД тоді становила 260 \$. Тому аж до початку 90-х років СД використовувались

лише як сигнальні індикатори у різній електронній апаратурі. Справжню революцію у виробництві і застосуванні СД спричинило одержання так званих подвійних гетероструктур, за вивчення яких академік Жорес Алферов одержав Нобелівську премію 2000 року. Світлова віддача червоних і зелених СД досягла 10...20 лм/Вт і обійшла за цим параметром ЛР.

В таблиці 2.1 спираючись на дані рисунка 1.1 відображено етапи розвитку світлодіодів.

Таблиця 2.1 – Етапи розвитку світлодіодів

Матеріал кристалу	Роки
GaAsP (фосфат арсеніду галію )	1960 - ті
GaP (фосфат галію )	1970 - ті
GaA/As (арсенід галію - алюмінію )	1980 - ті
InGaA/P (фосфат індію - галію - алюмінію )	1990 - ті
InGaN (нітрид індію - галію )	2000 - ні

Для застосування у світлотехніці не вистачало лише одного – СД білого кольору – основного кольору світлотехніки. Цей колір можна одержати одним з двох способів: змішуванням червоного, зеленого та синього або пропусканням синіх променів через жовтий світлофільтр. Проте СД синього кольору теж ще не було. Вони з'явилися лише у 1994 році, коли японська фірма Nichia створила СД на основі нітриду галію та його твердих розчинів. З цього часу все частіше у друкованих виданнях зустрічається аббревіатура LED (Light Emitting Diode) та словосполучення «над'яскраві СД».

Наприклад ще зовсім недавно, у 2000 р., обсяг продажу над'яскравих СД у цілому світі склав 1,2 млрд. дол. США, або 1,6 млрд. штук. При цьому індикаторних СД було продано майже 17 млрд. штук. Продані над'яскраві СД розійшлися таким чином: 32 % – для вуличних рекламних щитів та інформаційних табло, 49 % – для автомобільних сигналів, освітлення кабін вантажівок та приладних панелей авто і лише 3 % – для архітектурного підсвічування та освітлювальних ліхтарів, решта 16 % – для інших потреб.

Світлова віддача окремих зразків червоних СД на основі багатоперехідних структур у 2004 році уже сягнула понад 100 лм/Вт. Це стало справжнім проривом СД у світлотехніку. У 2006 р. уже серійно випускались СД якої завгодно колірності зі світловіддачею до 65 лм/Вт (кольорових) та 45...55 лм/Вт (білих). Загальний індекс кольоропередачі білих СД становив  $R_a = 85$ . Цього вже цілком достатньо, щоб СД серйозно потіснили не тільки ЛР але й газорозрядні ЛЛ. А ще ж проявились такі чудові властивості СД, які дають їм право на присвоєння прийменника «най» серед усіх відомих ДС.

Справжній бум у застосуванні СД, який розпочався декілька років тому, викликаний наступними обставинами:

1) Надійність СД набагато вища інших ДС. Багато СД мають термін служби 100 000 год., а в окремих 1 000 000 год. - вже не проблема.

2) Світлова віддача деяких СД вже зараз перевищує світлову віддачу ЛР, і досягає 30 лм/Вт, причому існує перспектива її підвищення в найближчі роки в 2 - 3 рази.

3) На відміну від газорозрядних ДС. СД не вимагають пускорегулюючої апаратури. Вони допускають послідовне і паралельне з'єднання без опорів, що спрощує можливості їх застосування.

4) Конструкція сучасних СД дозволяє концентрувати їх світловий потік у малих тілесних кутах, що дає можливість створення світлових приладів без застосування будь - якоїзовнішньої оптичної системи, причому коефіцієнт використання світлового потоку при цьому близький до 100 %.

5) Випромінювання СД близьке до монохроматичного, причому існують високоефективні СД із випромінюванням - червоного жовтого і зеленого кольорів, які застосовуються у візуальній сигналізації. Це відкриває необмежені можливості у застосуванні СД у світлосигнальному устаткуванні.



б) Висока стійкість СД до механічних впливів і працездатність у широкому інтервалі температур (від  $- 55^{\circ}$  до  $+ 100^{\circ}$  С) дозволяють їх використання на будь - яких засобах транспорту - від велосипеда до космічного човна.

В таблиці 2.2 представлено граничні параметри сучасних СД.

Таблиця 2.2 – Граничні параметри сучасних світлодіодів

Колір світіння	$\lambda_{\max}$ , нм	Сила світла, кд, при $I_{\text{пр.}}=20$ мА	Світловіддача, лм/Вт	Сила світла на одиницю потужності, кд/Вт
Червоний	660	35	10	900
Червоно-оранжевий	626	20	20	500
Жовтий	594	20	20	500
Жовто-зелений	565	2,5	3	60
Зелений	525	12	30	200
Синій	450	2,5	2	35

Основні параметри якими характеризуються СД наступні:

**Вхідні:**

- ↓ струм ( $I_{\text{пр}}$ );
- ↓ пряме спадання напруги ( $U_{\text{пр}}$ );
- ↓ допустима зворотна напруга ( $U_{\text{зв.мах}}$ , для більшості СД  $U_{\text{зв.мах}} = 10$  В).

**Вихідні:**

- ↑ світловий потік ( $\Phi$ );
- ↑ осьова сила світла ( $J_{\text{мах}}$ );
- ↑ кут випромінювання ( $2\theta_{0,5}$ );
- ↑ кольоровість випромінювання (довжина хвилі,  $\lambda_{\text{мах}}$ );
- ↑ інерційність ( $\tau$ );
- ↑ яскравість ( $L$ ).

В каталогах СД світловий потік вказується досить рідко; яскравість вказується для матриць і пластин.

На рисунку 2.3 відображено основні типи сучасних СД.

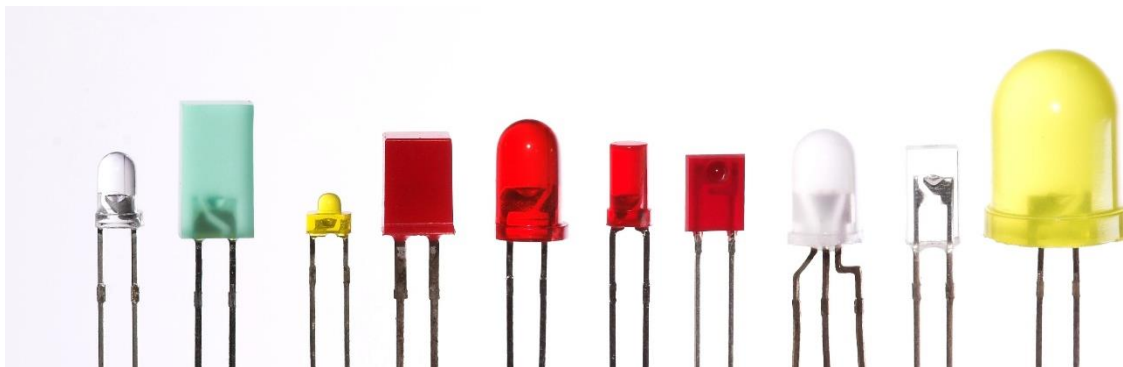


Рисунок 2.3 – Основні типи сучасних СД.

На рисунку 2.4 представлена вольт-амперна характеристика СД, а на рисунку 2.5 - залежність світлового потоку від струму який протікає через СД, для отримання повної картини варто представити характеристики основних матеріалів, з яких виготовляють кристали СД:

- 1) AlGaAs – червоні і інфрачервоні СД.
- 2) AlGaInP – жовті, жовто - червоні СД високої яскравості.
- 3) InGaN – сині, зелені і білі СД високої яскравості.

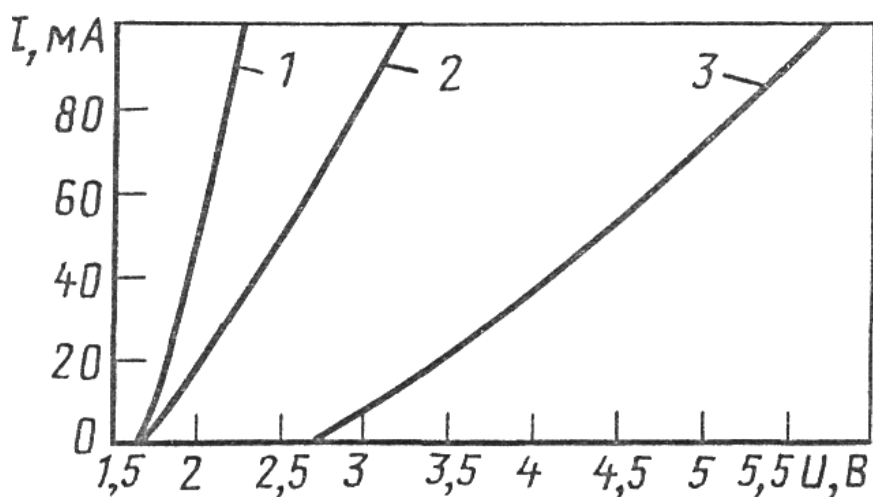


Рисунок 2.4 – Вольт – амперні характеристики світлодіодів.

1- AlGaAs; 2- AlGaInP; 3- InGaN.

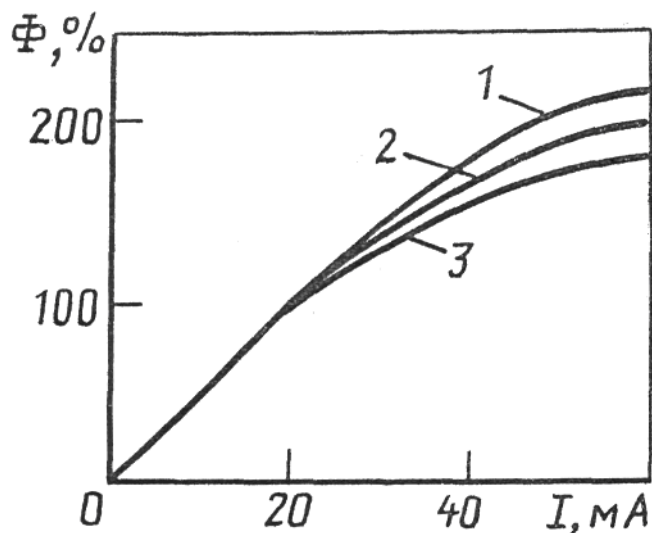


Рисунок 2.5 – Залежність потоку, випромінюваного світлодіодами від струму

1- AlGaAs; 2- AlGaInP; 3- InGaN.

Усі сучасні СД допускають роботу в імпульсному режимі з перевищенням імпульсного струму над середнім у 5 - 10 разів. Частота імпульсів при цьому повинна бути така, щоб середня потужність, яка розсіюється на СД, не перевищувала гранично допустиму для конкретного типу СД. Однак через нелінійну залежність потоку випромінювання від струму імпульсний режим з перевищенням струму більше, ніж у 3 рази, малоефективний.

Інерційність СД характеризується часом наростання і спаду світлового імпульсу від  $0,1$  до  $0,9 I_{max}$  і назад при подачі або при знятті напруги. Цей час змінюється від 13 нс для СД із фосфідів алюмінію, індію і галію до 45 нс для СД з арсенідів цих же металів.

Випромінювання СД не можна вважати строго монохроматичним, тому що ширина ділянка випромінювання з рівнем 0,5 складає 20 - 30 нм,. Спектральний розподіл випромінювання СД показаний на рисунку 2.6.

Крім СД, що випромінюють світло у видимій області спектра, широко поширені СД із випромінюванням у ІЧ області ( $\lambda_{max}$  від 800 до 1300 нм). Такі СД характеризуються силою випромінювання (від 50 до 250

мВт/страд), випромінюваною потужністю (від 20 до 300 мВт), кутом випромінювання (від  $8^\circ$  до  $180^\circ$ ), інерційністю (десятки нс).

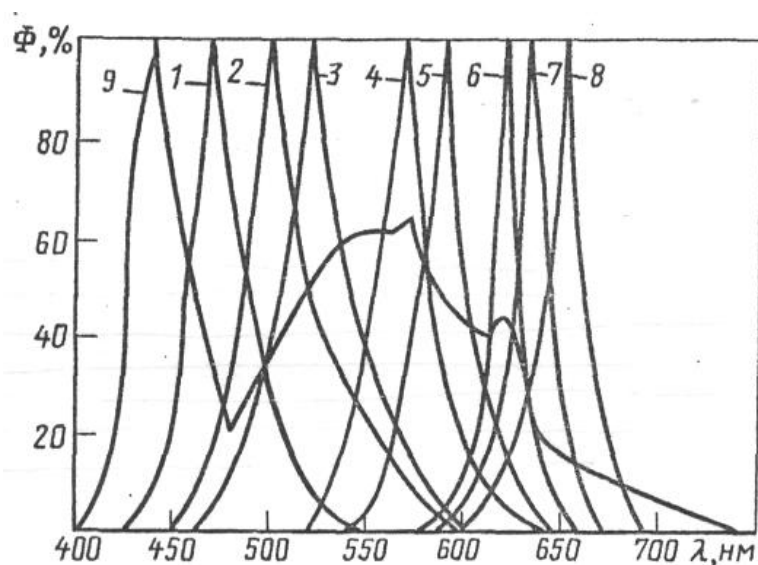


Рисунок 2.6 – Спектральний розподіл енергії випромінювання світлодіодів: 1 - синій; 2 - голубий; 3 - зелений; 4 - жовто-зелений; 5 - жовтий; 6 - жовто-гарячий; 7 - червоно-жовтогарячий; 8 - червоний; 9 - білий з люмінофором.

На рисунку 2.7 показана діаграма кольорового простору МКО 1931 (стандарт прийнятий в 1931 році). Зовнішня лінія обмежує кольоровий простір,

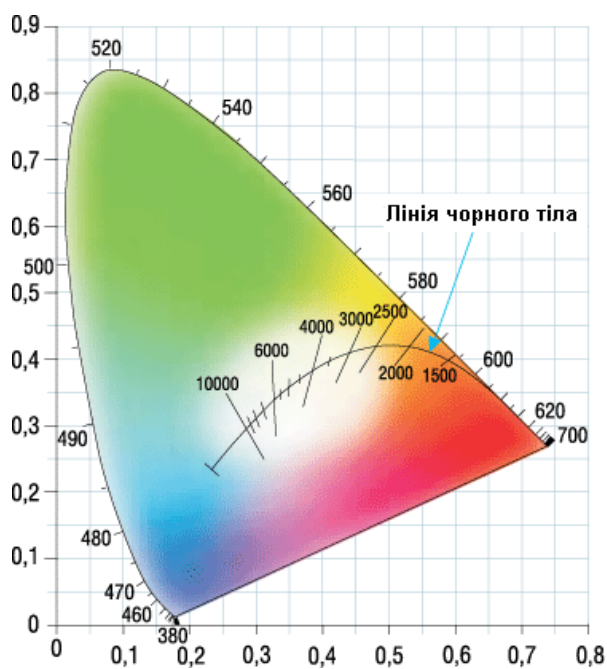


Рисунок 2.7 – Діаграма кольорового простору МКО 1931

який сприймає середньостатистичний користувач. Довжини хвиль спектральних (монохроматичних) кольорів вказані в нм.

Кольорова температура білого світлодіодного випромінювання визначається порівнянням з так званим «абсолютно чорним тілом» і відображається лінією «чорного тіла». При зростанні кольорової температури «чорного тіла» зростає синя (холодна) складова спектру і зменшується доля червоної. При зменшенні кольорової температури переважає червона (тепла) складова спектру.

У випадках, що вимагають передачі інформації з допомогою кольору: автодорожніх і залізничних світлофорах, панелях керування в автомобілях і літаках, задніх вогнях автотранспорту, дорожніх світлових табло, ліхтарях аеродромних смуг, колірні характеристики світлодіодів мають істотні переваги перед звичайними ЛР і ГЛР. Вони не вимагають кольорових світлофільтрів; вони краще помітні оком, оскільки близькі до монохромних ДС.

## 2.2 Характеристика світлофорів на світлодіодах

СД світлофор (рисунок 2.8) складається із секцій, з'єднаних між собою різьбовими пустотілими втулками 1, через які пропущені проводи.

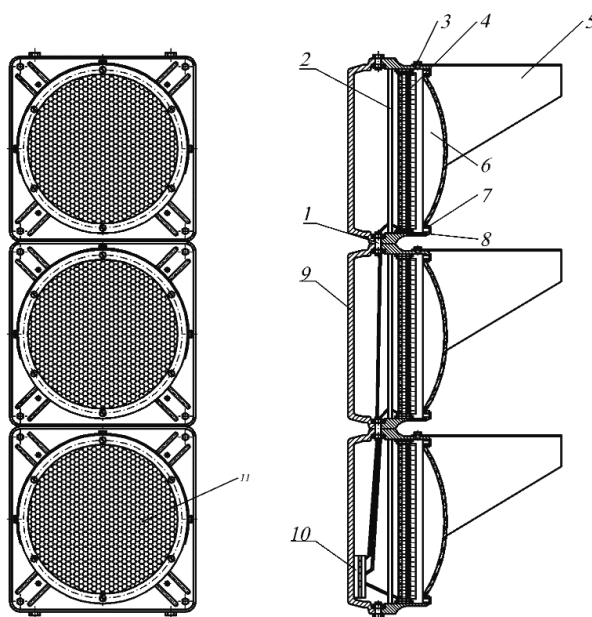


Рисунок 2.8 – Будова світлофора на світлодіодах

Зовнішній вигляд світлофора на СД є ідентичним світлофору на ЛР, зміни відбудуться лише в світловій точці та електричній схемі живлення світлофора. На відміну від світлофора на ЛР, СД сигнальний пристрій не буде містити

оптичного відбивача, він непотрібен тому, що світлодіоди, випромінюють монохроматичне світло при дуже вузькому куті.

Секція СД світлофора складається з корпусу 9, кришки 7 і захисного козирка 5, виготовлених з ударноміцної пластмаси (наприклад, полістиролу), гумових кілець і ущільнювача 8. В закритому положенні кришка утримується двомапружинними замками. В нижній секції встановлена розподільча колодка 10 для підключення живлення і електромонтажу в середині світлофора.

Джерелом світла є СД 11, кількість яких залежить від схеми живлення.

СД кріпляться на платі 3 чорного кольору, щоб при відключенні живлення фон був чорним. Виводи СД з'єднуються на платі з текстоліту 4. Стабілізація струму проводиться за допомогою плати схеми живлення 3. Для захисту СД від механічних пошкоджень та пилу обладнання захищено склом 6, проте, на відміну від звичайного світлофора, воно прозоре.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика світлофора на світлодіодах

Технічні характеристики	Секція червоного світла	Секція жовтого світла	Секція зеленого світла
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Споживана потужність, Вт	не більше 15	не більше 15	не більше 15
Типовий світловий потік, лм	360	360	360
Границі робочої температури,	-45...+65	-45...+65	-45...+65
Типова сила світла секції, кд	280	306	288
Типова довжина хвилі випроміню-	626	590	505
Кількість світлодіодів, шт	120	120	120
Діаметр світлової апертури, мм	300		
Захисне скло	безколірне випукле		
Напруга мережі, В	220		

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4
Частота, Гц	50		
Габаритні розміри секції світлофора, мм	378 × 378 × 450		
Матеріал корпусу	Литий пластик		
Середнє напрацювання, год.	не менше 50000		
Маса світлокомпонента, кг	4		
Термін служби	10 років		

### 2.3 Алгоритм роботи світлодіодного світлофора

Керування світлофорною сигналізацією здійснюється або за принципом сигнальних груп, або за фазами регулювання.

Почергове надання права на рух через перехрестя визначених напрямках припускає чи періодичність циклічність роботи світлофорного об'єкта. Період, на протязі якого діє визначена комбінація світлофорних сигналів, називається тактом регулювання. Такти можуть бути основними і проміжними. Під час основного такту дозволено (заборонено) рух визначеній групі транспортних засобів і пішоходів. Проміжний такт служить для підготовки до передачі права на рух наступній групі учасників руху. Зазначена підготовка означає звільнення перехрестя від транспортних засобів і пішоходів, що мали право на рух під час попереднього основного такту.

При пофазному методі регулювання руху в кожний такт можуть бути включені світлофори декількох напрямків руху. При цьому можливі ситуації, в яких у декількох тактах одного циклу будуть включені однакові сигнали світлофорів

того самого напрямку руху.

В таблиці 2.4 вказано порядок роботи фар світлофора, а також тривалість світіння, тривалість залежить від довжини перехрестя і тому може регулюватись в межах від 20 до 60 с.

Таблиця 2.4 – Порядок роботи фар світлофора

Порядок чергування фар світлофора			Тривалість світіння фар, с
Ч	Ж	З	
1	0	0	32
0	1	0	4
0	0	1	32
0	0	*	4
0	1	0	4

Примітка:

В таблиці позначено: Ч – червона фара; Ж – жовта фара; З – зелена фара;  
\* – пульсуюча зелена фара.

На рисунку 2.9 наведено приклад часової діаграми роботи світлофора.

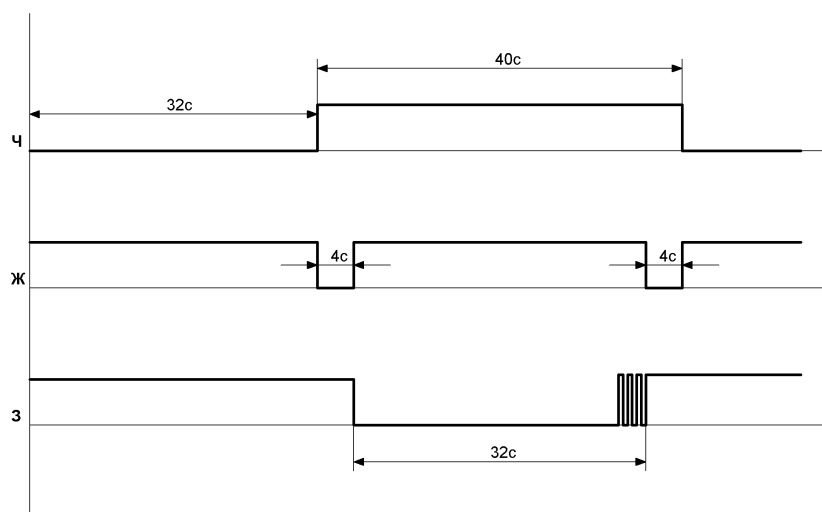


Рисунок 2.9 – Часова діаграма роботи світлофора



На рисунку 2.9 показані часові діаграми трьох режимів функціонування нашого світлодіодного світлофора, що проектується. Перший режим вибирається по замовчуванню, як базовий, він буде застосовуватись у аварійних випадках роботи світлофора, при його перепрограмуванні і т.п.

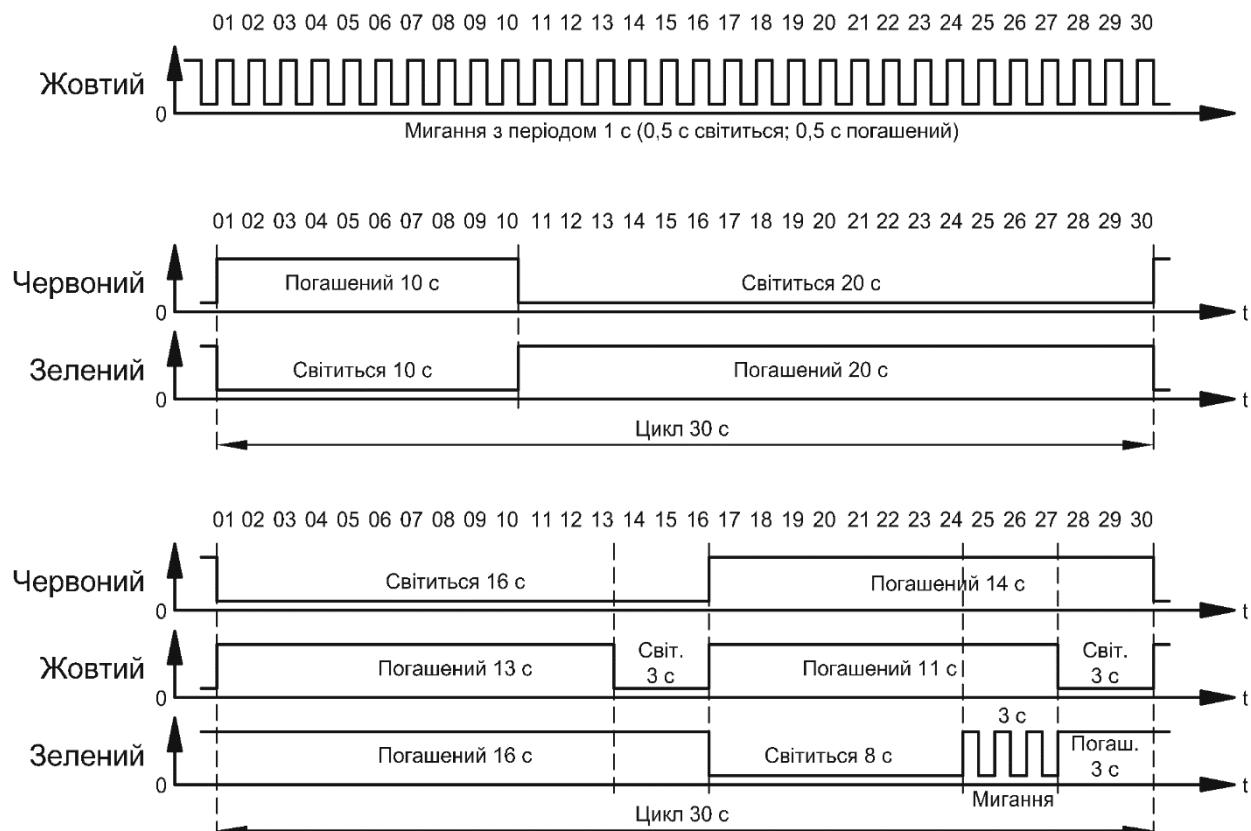


Рисунок 2.10 – Часова діаграма роботи світлофора

Єдиного алгоритму роботи не існує. Довжину тактів і фаз розраховують в проектних організаціях ДАІ в залежності від типу перехрестя, кількості полос руху, завантаження, ширини проїзної частини і т.п.

## 2.4 Вибір надяскравих світлодіодів для світлофорної світлової апертури

Основною проблемою використання СД в світлотехніці є мала величина світлового потоку одиничних СД. При розробці СД із збільшеним світловим потоком були використані високоефективні випромінюючі

структури InGaN, розроблена конструкція багатокристалного джерела випромінювання, яка забезпечує ефективне тепловідведення при підвищених значеннях споживаної потужності.

В таблиці 2.5 наведені параметри світлодіодних джерел з  $\lambda = 590$  нм з різною кількістю кристалів, з'єднаних паралельно.

Таблиця 2.5 – Параметри світлодіодних джерел з  $\lambda = 590$  нм з різною кількістю кристалів, з'єднаних паралельно

Кількість кристалів	I <sub>пр</sub> , mA	U <sub>пр</sub> , В	I <sub>v</sub> , кд	Ф <sub>v</sub> , лм	η, лм/Вт	α, град	Р <sub>е</sub> , мВт
1	20	2	13	0,41	10	11	0,79
4	80	2	20	1,25	7,8	14	2,4
8	160	2	27	1,7	5,3	14	3,3
20	750	2	65	4,1	2,7	12	7,9
8	160	2	7	1,75	5,3	32	3,4

З таблиці 2.5 видно, що із збільшенням кількості кристалів світловіддача ДС падає, і найбільше значення відповідає СД з одним кристалом. В цьому випадку джерело випромінювання найкращим чином злагоджено з оптичною системою, оскільки воно ближче до виконання умов точкового джерела.

Виходячи з цих експериментів, подальше виготовлення світлодіодних джерел зеленого, синього і червоного кольорів випромінювання проводили в основному на п'яти або чотирьох кристалах з еліпсоїдальною параболічною лінзою. Параметри цих джерел приведені в таблиці 2.6.

Потужні світлодіоди з червоного і жовтого світла створювалися на основі імпортних кристалів в системі AlGaInP на кремнієвій підкладці. Підкладка містить шар алюмінію, який дозволяє різко понизити втрати на поглинання випромінювання в підкладці, що дзеркально-відображає. Гетероструктура з нанесеними з двох сторін тонкими електропровідними шарами

скріплює з підкладкою прозорим для випромінювання органічним шаром, який ізолює структуру від підкладки, що дозволяє ізолювати електричне коло діода від корпусу приладу. Кремнієва підкладка завдяки високій теплопровідності дозволяє понизити нагрівання структури при підвищених робочих струмах. Випромінюючі кристали мають площу р-n-структури  $S \approx 0,5 \text{ мм}^3$ .

Таблиця 2.6 – Параметри світлодіодних джерел різних кольорів з еліпсо-їдальною параболічною лінзою з різною кількістю кристалів

$\lambda_{\text{max}}$ , нм	Кількість кристалів	$I_{\text{пр}}$ , мА	$U_{\text{пр}}$ , В	$I_v$ , кд	$\alpha$ , град	Колір випромінювання
505	4	80	3	30	11	Зелено-синій
470	5	100	3,8	15	11	Синій
630	4	80	1,9	22	11	Червоно-оранжевий
590	20	500	2	52	12	Жовто-оранжевий
590	4	80	2	20	14	Жовто-оранжевий

Потужні світлодіоди із зеленим і синім світінням створювалися на осно-ві імпортованих кристалів в системі InGaN. Площа р-n структури кристалів складала  $S \approx 0,75 \text{ мм}^3$ .

Отже для заміни стандартних ЛР і ГЛР в системах дорожньої сигналізації нами пропонується використовувати 5 мм світлодіоди з прозорою куполо-видною лінзою виготовленої з полікарбонату, який не деградує під впливом ультрафіолетового випромінювання. Ці світлодіодні ДС можуть бути використані і в інших освітлювальних пристроях. В якості світловипромінюючого тіла використовують сфероциліндричну лінзу діаметром 5 мм, рисунок 2.11.

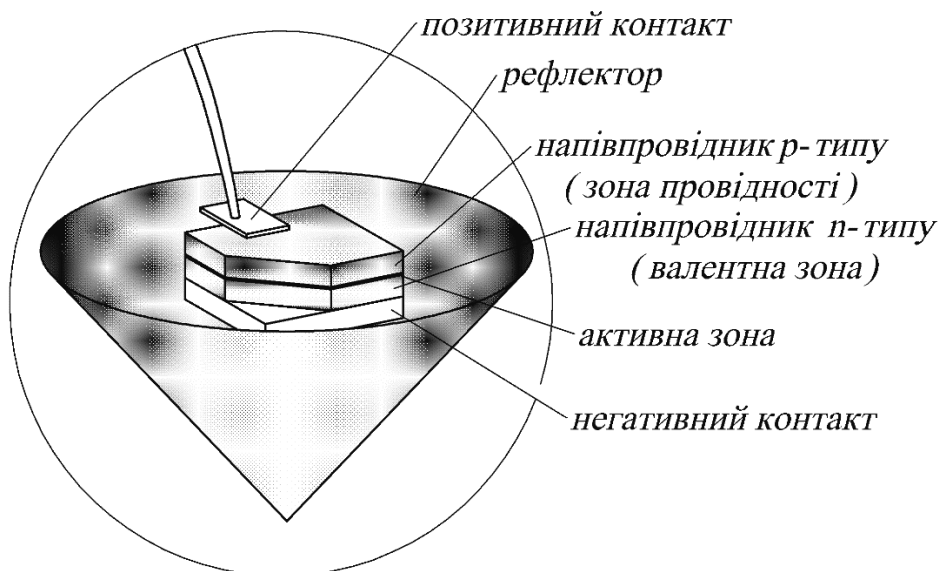


Рисунок 2.11 – Світловипромінююче тіло світлодіода

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики стандартних 5-мм світлодіодів білого світла різних виробників

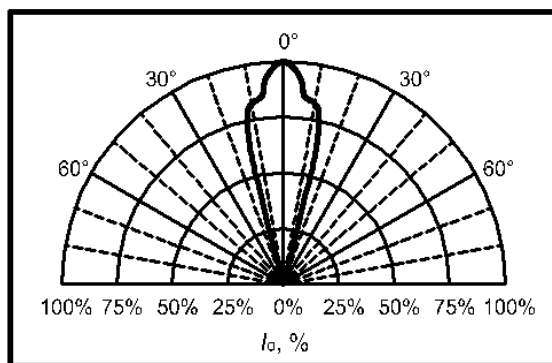
Тип виробу	Пряма напруга номінальна, В	Сила світла, при $I_{пр}=20$ мА, мКд	Кут випром.	Виробник
L-513NWC-30D	3,5	3500-5000	30	Para Light Electronics
L-513LWC	3,5	5000	15	
L-5T3VW5C-D1	3,5	8500	18	
L-5T3VW5C-D2	3,5	7500	25	
NSPL500S	3,6	1800	50	Nichia
NSPL510S	3,6	1800	50	
NSPW510BS				
NEPW500BS	3,6	6400	20	
NSPW515BS	3,6	4800	70	
W7114PWC/H	3,7	4000	20	King bright Electronics
L-7083PWW-H	3,7	1000	60	
LW K3333-3	3,5	1500	30	
LW K3333-30	3,5	1500	30	Ligitek Electronics
LW K3333	3,5	3000	16	
LW K3833	3,5	4000	12	
TL CW5100	3,9	4000 $I_{пр}=30$ мА	18	Vishay Semiconducto
LC503PWH1-15G		5000	15	Cotco
КИПД80Б		3000	23	Протон
КИПД80Б-1Б				
КИПД21 С3-Б		4000	20	ТрансЛед
10 мм У-164 Бл		При $I_{пр}=30$ мА, 35 кд, 22 лм/Вт	8	ОПТЕЛ

Для світлової точки світлофора ми використовуємо світлодіоди серії OVLFx3C7 фірми *TT Electronics* (Китай), основні характеристики якого наведені в таблиці 2.8.

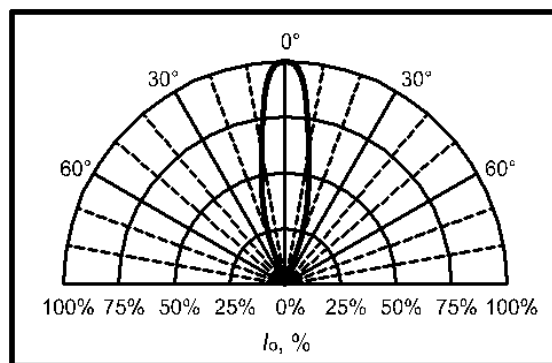
Таблиця 2.8 – Технічні характеристики світлодіода OVLFx3C7

Символ	Параметр	Колір	Значення параметру			Одиниці вимір.	При умові
			Min	Типове	Max		
$I_o$	Осьова сила світла	Зелений	4360	7000	-	мКд	$I_{пр} = 20 \text{ mA}$
		Червоний	2820	5000	-		
		Жовтий	2225	4000	-		
$U_{пр}$	Прямий спад напруги	Зелений	2,6	3,4	4,0	В	$I_{пр} = 20 \text{ mA}$
		Червоний	-	2,0	2,4		
		Жовтий	-	2,0	2,4		
$I_{зв}$	Зворотній струм	Зелений	-	-	50	мА	$U_{зв} = 5 \text{ В}$
		Червоний	-	-	10		
		Жовтий	-	-	10		
$\lambda_{\text{макс}}$	Довжина хвилі в області максимуму випромінювання	Зелений	519	525	531	нм	$I_{пр} = 20 \text{ mA}$
		Червоний	620	625	630		
		Жовтий	585	589	595		
$\Delta\lambda_{\text{макс}}$	Ширина спектру	Зелений	-	25	-	нм	$I_{пр} = 20 \text{ mA}$
		Червоний	-	25	-		
		Жовтий	-	25	-		
$2\alpha_{0.5}$	Кут випромінювання		-	30	-	градус	$I_{пр} = 20 \text{ mA}$

Механічна конструкція СД визначає розподіл світла і діаграму спрямованості випромінювання в просторі. Вузька діаграма спрямованості забезпечує велику силу світла в осьовому напрямі, але невеликий кут огляду (рисунок 2.12). Той же кристал може бути змонтований так, щоб отримати широкий кут огляду, але інтенсивність в осьовому напрямі буде нижче пропорційна куту випромінювання.



Червоні і жовті світлодіоди



Зелені світлодіоди

Рисунок 2.12 – Криві сили світла використовуваних світлодіодів OVLFX3C7

Електричні характеристики СД подібні іншим напівпровідниковим діодам.

Характеристики СД серії OVLFX3C7 наведені на рисунках 2.13 – 2.15.

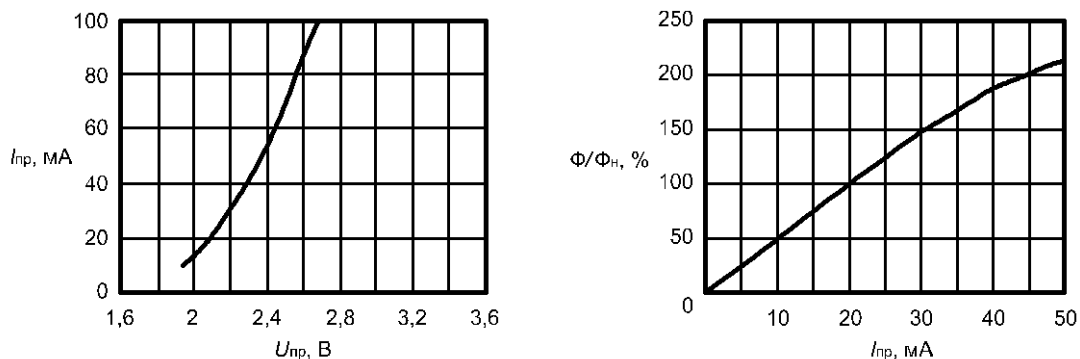


Рисунок 2.13 – Характеристика червоного СД серії OVLFX3C7

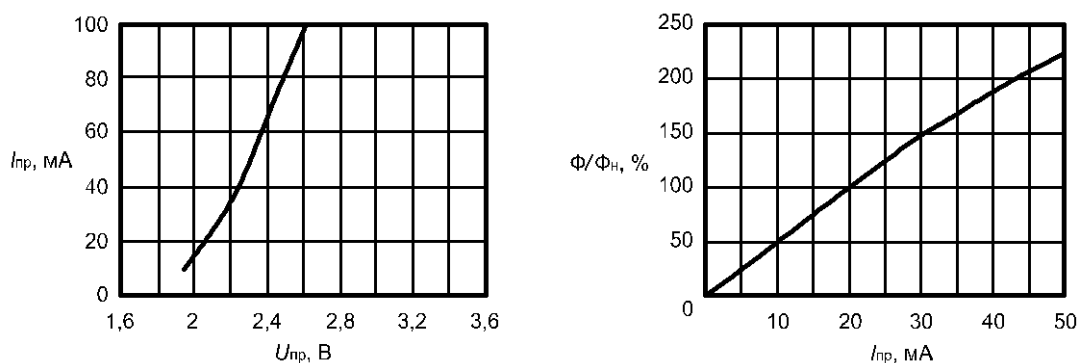


Рисунок 2.14 – Характеристика жовтого СД серії OVLFX3C7

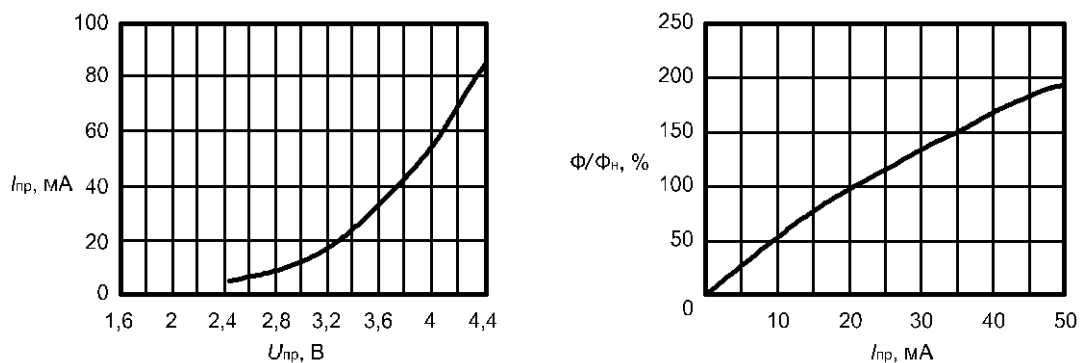


Рисунок 2.15 – Характеристика зеленого СД серії OVLFX3C7

Пряма напруга СД обернено пропорційно до зростання температури навколишнього середовища. Подібно всім напівпровідниковим приладам, номінальні характеристики СД повинні бути змінені при високих робочих температурах. Оптичні характеристики СД також сильно залежать від температури. По-

перше, світловий потік СД, падає при підвищенні температури р-n-переходу. Це відбувається через зростання вірогідності безвипромінюваної рекомбінації дірок і електронів, яка не вносить вкладу у випромінювання світла. Крім того, довжина хвилі випромінюваного світла також змінюється з температурою, в основному через зміну ширини зони. Всі характеристики світлодіода серії OVLFx3C7 вка-зані для температури р-n-переходу не вище  $T=25^{\circ}\text{C}$ .

## 2.5 Електричні схеми ввімкнення світлодіодів

Схема живлення світлофора на СД відрізняється від схеми світлофора на ЛР. Це пояснюється тим, що світлодіоди, серії OVLFx3C7 які ми застосовуємо, працюють лише на постійному струмі та при номінальній напрузі згідно таблиці 2.9 – для червоних і жовтих 2В, а для зелених 3,3В та при струмі 20 мА. Крім того, як вже було зазначено в кількості світлодіодів становить 120 штук в схемі однієї світлової точки світлодіодного світлофора. Враховуючи чутливість світлодіодів до стрибків струму необхідно його стабілізувати.

Схема живлення світлофора, що проектується, буде здійснюватись від мережі 220 В та частотою 50 Гц, тому для включення світлодіодів розроблено спеціальні схеми. Розроблено два варіанти схеми включення світлодіодів перший – для червоних і жовтих, другий – для зелених СД.

Перший з них передбачає ввімкнення по 5 світлодіодів світлової точки в послідовне з'єднання через резистор, на одну плату передбачається 12 ланок. Враховуючи кількість 120 світлодіодів передбачається 2 плати по  $2 \times (5 \times 12) = 120$  шт. Перевага такого з'єднання полягає в оптимальному забезпеченні світлового потоку світлодіодами, а також при перегоранні одного світлодіода ланки, світитися будуть наступні 11 ланок світлодіодів з ладу вийде лише одна. Другий варіант – передбачає таке ж паралельне з'єднання світлодіодів, але враховуючи напругу на зелених світлодіодах в ланку буде

з'єднано по 3 СД. При такому з'єднанні світлодіодів необхідно встановити понижуючий трансформатор.

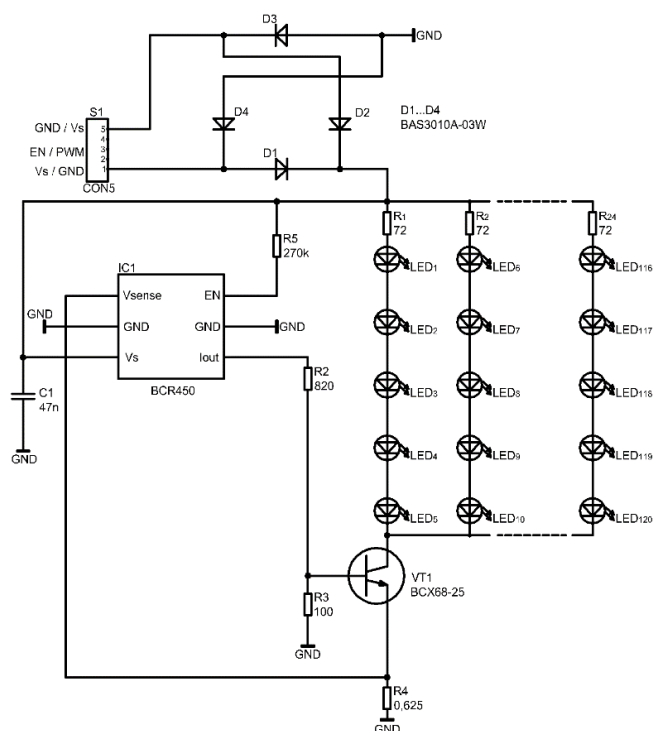


Рисунок 2.16 – Електрична схема з'єднання червоних і жовтих світлодіодів в світлову точку світлофора

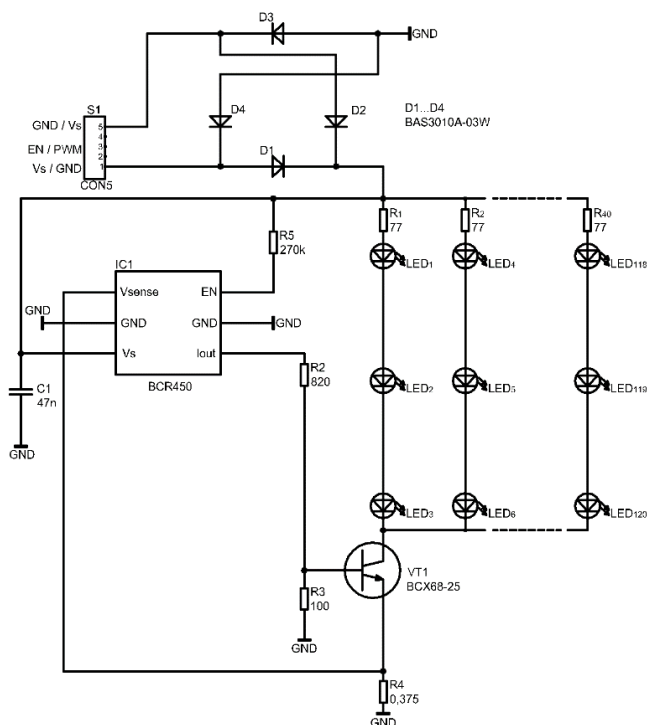


Рисунок 2.17 – Електрична схема з'єднання зелених світлодіодів в світлову точку світлофора



## 2.6 Висновки до розділу 2

Із аналізу представлених у даному розділі кваліфікаційної роботи матеріалів можна зробити наступні висновки:

1. Показана ефективність використання напівпровідникових джерел світла в системах дорожньої сигналізації;
2. Наведено характеристику світлофора на світлодіодах;
3. Розглянуті параметри надяскравих світлодіодних джерел та наведено основні технічні характеристики світлодіада OVLFx3C7
4. Наведено схеми ввімкнення світлофорних точок з зеленими, жовтими та червоними світлодіодами.

### 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Розрахунок понижуючого трансформатора для схеми живлення

Початкові дані для розрахунку:

- *напруга мережі*  $U_1 = 220$  В;
- *частота мережі*  $f = 50$  Гц;
- *напруга вторинної обмотки*  $U_2 = 36$  В;
- *струм вторинної обмотки*  $I_2 = 0,14$  А;
- *температура навколишнього середовища*  $t_{н.с.} = 50$  °С.

1. Визначаємо сумарну потужність вторинної обмотки за формулою:

$$\Sigma P = P_2 = U_2 \cdot I_2 = 36 \cdot 0,14 = 5,04 \text{ ВА} \quad (3.1)$$

2. Вибираємо пластинчастий магнітопровід зі сталі Э42; товщина пластини 0,35 мм.

3. Знаходимо орієнтовні величини: знайдену індукцію зменшуємо на 10 % для того щоб при збільшенні напруги мережі в заданих межах (+10 %) максимальна індукція не перевищувала значення  $B_{\text{макс.}} = 0,9 \cdot B_{\text{табл.}} = 0,9 \cdot 1,1 = 0,99$  Тл; густина струму  $\delta = 3,9$  А/мм<sup>2</sup>; коефіцієнт заповнення вікна  $K_{\text{вік.}} = 0,22$ ; коефіцієнт заповнення перерізу магнітопровода  $K_{\text{ст.}} = 0,9$ .

4. Знаходимо добуток перерізу сталі магнітопровода ( $S_{\text{ст.}}$ ) на площу його вікна ( $S_{\text{вік.}}$ )

$$S_{\text{ст.}} \cdot S_{\text{вік.}} = \frac{P_2 \cdot 10^2}{2,22 \cdot f \cdot B_{\text{макс.}} \cdot \delta \cdot K_{\text{вік.}} \cdot K_{\text{ст.}}} = \frac{5,04 \cdot 10^2}{2,22 \cdot 50 \cdot 0,99 \cdot 3,9 \cdot 0,22 \cdot 0,9} = 5,9 \text{ см}^4 \quad (3.2)$$

5. Вибираємо магнітопровід ШІ 10×16 в якого  $S_{cm} \cdot S_{вік} = 5,8$ ; активною площею  $S_{cm.ак.} = 2,32$ ; масою  $G_{cm.} = 0,110$  кг.

6. Визначаємо втрати в сталі при індукції  $B_{макс.} = 1,1$  Тл:

$$P_{cm.} = p_{cm.} \cdot G_{cm.} = 1,7 \cdot 0,11 = 0,187 \text{ Вт} \quad (3.3)$$

де  $P_{cm.}$  – питомі втрати ( на 1 кг сталі).

7. Знаходимо активну складову струму холостого ходу при максимальному навантаженні мережі ( $U_1 = 1,1 \cdot 220 = 242$ В):

$$I_{0a} = P_{cm.} / U_1 = 0,187 / 242 = 0,000773 \text{ А} \quad (3.4)$$

8. Знаходимо повну намагнічуючу потужність для індукції  $B_{макс.} = 1,1$  Тл:

$$Q_{cm} = q_{cm} \cdot G_{cm.} = 60 \cdot 0,11 = 6,6 \text{ ВА} \quad (3.5)$$

де  $q_{ст}$  – повна питома намагнічуюча потужність.

9. Знаходимо реактивну складову струму холостого ходу  $U_1 = 242$  В:

$$I_{0p} = Q_{cm} / U_1 = 6,6 / 242 = 0,027 \text{ А} \quad (3.6)$$

10. Знаходимо абсолютне і відносне значення струму холостого ходу

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2} = \sqrt{0,000773^2 + 0,027^2} = 0,027 \text{ А} \quad (3.7)$$

$$I_1 = \frac{P_2}{U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5,04}{242 \cdot 0,5 \cdot 0,85} = 0,049 \text{ А} \quad (3.8)$$

де  $\eta$  – ККД трансформатора,

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

$$\eta_{0\%} = \left( I_0^2 / I_1^2 \right) \cdot 100\% = \left( 0,027 / 0,049 \right) \cdot 100\% = 55,1\% \quad (3.9)$$

при  $U_1 = 242$  В, що допускається.

При номінальній напрузі мережі  $U_1 = 220$  В:

$$I_1 = \frac{P_2}{U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5,04}{220 \cdot 0,5 \cdot 0,85} = 0,054 \text{ А} \quad (3.10)$$

11. Знаходимо число витків обмоток

$$w_1 = \frac{E_1 \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B_{\text{МАКС}} \cdot S_{\text{СТ.АК.}}} = \frac{176 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot 2,32} = 3107 \quad (3.11)$$

де  $E_1$  – електрорушійна сила первинної обмотки:

$$E_1 = U_1 \cdot (1 - U_1 \% \cdot 10^{-2}) = 220 \cdot (1 - 20 \cdot 10^{-2}) = 176 \text{ В},$$

де  $U_1 = 20$  % - величина спаду напруги первинної обмотки, виражена в процентах від номінального значення.

$$w_2 = \frac{E_2 \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B_{\text{МАКС}} \cdot S_{\text{СТ.АК.}}} = \frac{27 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot 2,32} = 477 \quad (3.12)$$

де  $E_2$  – електрорушійна сила вторинної обмотки:

$$E_2 = U_2 \cdot (1 - U_2 \% \cdot 10^{-2}) = 36 \cdot (1 - 25 \cdot 10^{-2}) = 27 \text{ В},$$

де  $U_2 = 25$  % - величина спаду напруги вторинної обмотки, виражена в процентах від номінального значення [6].

13. Знаходимо орієнтовні величини густини струмів і площі перерізу проводів обмоток:  $\delta_1 = 3,9$  А/мм<sup>2</sup>;  $\delta_2 = 3,0$  А/мм<sup>2</sup>

$$S_{np1} = I_1 / \delta_1 = 0,054 / 3,9 = 0,00138 \text{ мм}^2; S_{np2} = I_2 / \delta_2 = 0,14 / 3,0 = 0,0467 \text{ мм}^2.$$

13. Вибираємо стандартні переріз і діаметр проводів марки ПЭВ-2  $S_{np1} = 0,0150$  мм<sup>2</sup>;  $d_{np1} = 0,14$  мм;  $d_{i31} = 0,18$  мм;  $S_{np2} = 0,0490$ ;  $d_{np2} = 0,25$  мм;  $d_{i32} = 0,30$  мм.

14. Знаходимо фактичні густини струмів в проводах

$$\delta_1 = I_1 / S_{np1} = 0,054 / 0,015 = 3,6 \text{ А/мм}^2 \quad (3.13)$$

$$\delta_2 = I_2 / S_{np2} = 0,14 / 0,049 = 2,86 \text{ А/мм}^2 \quad (3.14)$$

15. Визначаємо випробні напруги обмоток:

$$U_{p1} = \sqrt{2} \cdot U_1 = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}, \quad (3.15)$$

$$U_{вип1} = 1231 \text{ В (ампл.)} \gg 860 \text{ В (дійс.)}$$

$$U_{p2} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \sqrt{2} \cdot 36 = 51 \text{ В},$$

$$U_{вип2} = 290 \text{ В (ампл.)} \gg 205 \text{ В (дійс.)} \quad (3.16)$$

16. Визначаємо допустиму осьову довжину обмотки на гільзі

$$h_{\partial 1} = h - 2 \cdot \Delta_{\kappa 1} = 25 - 2 \cdot 1,5 = 22 \text{ мм} \quad (3.17)$$

де  $h$  – висота вікна трансформатора;

$\Delta_{\kappa 1}$  – величина зазору і товщина каркасу первинної котушки трансформатора.

$$h_{\partial 2} = h - 2 \cdot \Delta_{\kappa 2} = 25 - 2 \cdot 2 = 21 \text{ мм} \quad (3.18)$$

де  $\Delta_{\kappa 2}$  – величина зазору і товщина каркасу вторинної котушки трансформатора.

17. Визначаємо число витків в одному шарі і число шарів кожної обмотки

$$w_{c1} = \frac{h_{\partial 1}}{1,078 \cdot d_{\text{в}1}} = \frac{22}{1,078 \cdot 0,18} = 133 \text{ витка}, \quad (3.19)$$

$$w_{c2} = \frac{h_{\partial 2}}{1,078 \cdot d_{\text{в}2}} = \frac{21}{1,066 \cdot 0,30} = 66 \text{ витків}; \quad (3.20)$$

$$N_1 = w_1 / w_{c1} = 3107 / 133 = 24 \text{ шари}, \quad (3.21)$$

$$N_2 = w_2 / w_{c2} = 477 / 66 = 8 \text{ шарів}. \quad (3.22)$$

18. Вибираємо ізоляційну відстань  $h_{i31} = 2$  мм;  $h_{i3.ос.} = 1,0$  мм;  $h_{i3.мо.} = 0,24$  мм (два шари паперу К-12);  $h_{i3.н.} = 0,24$  мм (два шари паперу К-12).

В якості міжшарової ізоляції первинної обмотки вибираємо просочений папір ЕИП-50 товщиною 0,09 мм; для вторинної обмотки телефонний папір КТН товщиною 0,05 мм.

19. Визначаємо величини коефіцієнтів:

перша обмотка:  $k_{ma1}=1,06$ ;  $k_{mc1}=1,06$ ;  $k_{mo1}=1,10$ ;

друга обмотка:  $k_{ma2}=1,09$ ;  $k_{mc2}=1,12$ ;  $k_{mo2}=1,25$ .

20. Знаходимо радіальні розміри кожної обмотки

$$\begin{aligned} a_1 &= k_{ma1} \cdot N_1 \cdot d_{iz1} + k_{mc1} \cdot (N_1 - 1) \cdot 0,09 = \\ &= 1,06 \cdot 24 \cdot 0,18 + 1,06 \cdot (24 - 1) \cdot 0,09 = 6,77 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$a_1 = k_{ma2} \cdot N_2 \cdot d_{iz2} + k_{mc2} \cdot (N_2 - 1) \cdot 0,05 = 1,09 \cdot 8 \cdot 0,3 + 1,12 \cdot (8 - 1) \cdot 0,05 = 3,01 \text{ мм} \quad (3.24)$$

де 0,09 і 0,05 – товщина міжшарової ізоляції відповідно першої і другої обмотки.

21. Визначаємо  $k_g=1,07$  при  $b/a=16/10=1,6$ ; приймаємо  $k_{no}=1,7$ .

23. Визначаємо радіальні розміри котушки

$$\begin{aligned} a &= 0,5 + (h_{iz.oc.} + a_1 + 1,19 \cdot h_{iz.mo} + a_2 + 1,35 \cdot h_{iz.n.}) \cdot k_g = \\ &= 0,5 + (1,0 + 6,77 + 1,19 \cdot 0,24 + 3,01 + 1,35 \cdot 0,24) \cdot 1,07 = 9,69 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.25)$$

23. Зазор між котушкою і сердечником складає  $10 - 9,69 = 0,31$  мм, що допускається.

24. Визначаємо втрати в міді обмоток:

а) знаходимо середню довжину витка кожної обмотки

$$a_\kappa = l + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 \cdot k_g = 10 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 \cdot 1,07 = 13,14 \text{ мм} \quad (3.26)$$

$$b_\kappa = B + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 \cdot k_g = 16 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 \cdot 1,07 = 19,14 \text{ мм} \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned} l_{cp.g1} &= (2 \cdot (a_\kappa + b_\kappa) + 2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot a_1 \cdot k_g) \cdot 10^{-3} = \\ &= (2 \cdot (13,14 + 19,14) + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 6,77 \cdot 1,07) \cdot 10^{-3} = 0,087 \text{ м} \end{aligned} \quad (3.28)$$

$$l_{cp.в2} = (2 \cdot (a_k + b_k) + 2 \cdot \pi \cdot (a_1 + 0,19 \cdot h_{из.мо} + 0,5 \cdot a_2) \cdot k_g) \cdot 10^{-3} =$$

$$(2 \cdot (13,14 + 19,14) + 2 \cdot 3,14 \cdot (6,77 + 0,19 \cdot 0,24 + 0,5 \cdot 3,01) \cdot 1,07) \cdot 10^{-3} = 0,120 \text{ м} \quad (3.29)$$

б) Знаходимо масу міді кожної обмотки

$$G_{м1} = l_{cp.в1} \cdot w_1 \cdot g_1 = 0,087 \cdot 3107 \cdot 0,145 = 39 \text{ г} \quad (3.30)$$

$$G_{м2} = l_{cp.в2} \cdot w_2 \cdot g_2 = 0,12 \cdot 477 \cdot 0,435 = 25 \text{ г} \quad (3.31)$$

де  $g_1$  і  $g_2$  – маса одного кілометра мідного проводу, кг/км.

в) знаходимо втрати в кожній обмотці; гранично допустима температура проводу ПЭВ -2  $t_{пр} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P_{м1} = m \cdot \delta_1^2 \cdot G_{м1} = 2,65 \cdot 3,6^2 \cdot 39 \cdot 10^{-3} = 1,34 \text{ Вт} \quad (3.32)$$

$$P_{м2} = m \cdot \delta_2^2 \cdot G_{м2} = 2,65 \cdot 2,86^2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,54 \text{ Вт} \quad (3.33)$$

де  $m = 2,65$  – коефіцієнт при температурі  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ .

г) знаходимо сумарні втрати в міді котушки

$$P_m = P_{м1} + P_{м2} = 1,34 + 0,54 = 1,88 \text{ Вт} \quad (3.34)$$

25. Визначаємо тепловий опір (магнітопровід ШІ 10×16)

$$R_e = 3,7; R_m = 1,9; R_m^0 = 15,8; R_c^0 = 9,3.$$

26. Визначаємо величину теплового потоку котушка-сердечник

$$P'_m = \frac{(R_r + R_m + R_k^0 + R_c^0) \cdot P_m - R_m^0 \cdot P_{CT}}{2 \cdot (R_r + R_m + R_k^0 + R_c^0)} =$$

$$= \frac{(3,7 + 1,9 + 15,8 + 9,3) \cdot 1,88 - 9,3 \cdot 0,187}{2 \cdot (3,7 + 1,9 + 15,8 + 9,3)} = 0,91 \text{ Вт} \quad (3.35)$$

27. Визначаємо тепловий опір котушки від максимально нагрітої області до до гільзи

$$x = \frac{-P'_M \cdot (R_T + R_M + R_K^o + R_C^o) - R_M^o \cdot P_{CT} + P_M \cdot (R_M + R_M^o)}{P_M} = \quad (3.36)$$

$$= \frac{-0,91 \cdot (3,7 + 1,9 + 15,8 + 9,3) - 9,3 \cdot 0,188 \cdot (1,9 + 15,8)}{1,88} = 3,6 \text{ Вт}$$

Оскільки  $x > 0$ , то тепловий потік здійснюється в напрямку від котушки до сердечника.

28. Так як  $P'_M$  додатній, то величина максимального перевищення температури котушки становитиме:

$$\Theta_{\text{макс.}} = (P_M - P'_M) \cdot (R_M + R_M^o) = (1,88 - 0,91) \cdot (1,9 + 15,8) = 17 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.37)$$

30. Визначаємо середньо об'ємне перевищення температури котушки

$$\Theta_{\text{ср.}} = \Theta_{\text{макс}} - 0,5 \cdot \Theta_{\text{макс.}} = 17 - 0,5 \cdot 17 = 16,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.38)$$

31. Визначаємо максимальну і середню температуру проводів обмотки

$$t_{\text{нр.макс.}} = 50 + \Theta_{\text{макс.}} = 50 + 17 = 67 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.39)$$

$$t_{\text{нр.ср.}} = 50 + \Theta_{\text{ср.}} = 50 + 16,1 = 66,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.40)$$

33. На основі проведеного розрахунку видно, що прийняті в розрахунку проводи марки ПЭВ-2 з гранично допустимою температурою  $+105 \text{ }^\circ\text{C}$  можуть бути використані в даному трансформаторі зі збереженням його терміну служби біля 20 років.

33. Визначимо активні опора обмоток при  $t_{\text{н.с.}} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$

$$r_1 = \rho_M \cdot l_{\text{ср.с1}} \cdot w_1 / S_{\text{нр1}} = 2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,087 \cdot 3107 / 0,015 = 423,5 \text{ Ом} \quad (3.41)$$

де  $\rho_i$  – питомий опір мідного проводу при  $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$

$$r_2 = \rho_M \cdot l_{\text{ср.с2}} \cdot w_2 / S_{\text{нр2}} = 2,35 \cdot 10^{-2} \cdot 0,12 \cdot 477 / 0,049 = 423,5 \text{ Ом} \quad (3.42)$$

При  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$r'_1 = r_1 \cdot 1,75 / \rho_M = 423,5 \cdot 1,75 / 2,35 = 315,4 \text{ Ом} \quad (3.43)$$



$$r_2' = r_2 \cdot 1,75 / \rho_m = 27,5 \cdot 1,75 / 2,35 = 20,5 \text{ Ом} \quad (3.44)$$

34. Визначаємо повні активні опори пар обмоток трансформатора, приведені до його первинної обмотки:

$$r_{mp1-2} = r_1 + r_2 \cdot (w_1 / w_2)^2 = 423,5 + 27,5 \cdot (3107 / 477)^2 = 1590 \text{ Ом} \quad (3.45)$$

Отримаємо трансформатор з наступними параметрами:

- » *Магнітопровід: ШІ 10×16;*
- » *Товщина пластини 0,35 мм;*
- » *Марка сталі Э42;*
- » *Кількість пластин 45 шт;*
- » *Ізоляція:*
  - ↯ *між шарами первинної обмотки – папір ЭИП-50, 0,09;*
  - ↯ *вторинної обмотки – телефонний папір КТН 0,05 мм;*
  - ↯ *між обмотками – кабельний папір К-12, два шари;*
  - ↯ *по поверхні котушки – К-12, два шари.*

*Просочення: без просочення.*

### **3.2 Розрахунок економічної ефективності від впровадження енерго-ефективної системи дорожньої сигналізації**

Оскільки сьогодні вартість електроенергії є досить високою і в майбутньому вона ще зросте, то зрозуміло, що впровадження енергоефективних технологій призведе до зменшення споживання і відповідно зниження грошових витрат на її оплату. Тому доцільно порахувати який буде економічний ефект від заміни одного джерела світла на друге більш економічне. В даному проекті пропонується замінити у світлофорах лампи розжарювання на світлодіоди.

В розрахункових даних ми будемо вважати, що всі світлові точки світлофора працюють протягом однакового інтервалу часу, таким чином вони будуть

споживати однакову кількість електроенергії. Тому розрахунок будемо вести для однієї будь-якої світлової точки, прийmemo, що світлофор працює 24 год. на добу  $t_{доб} = 24$  год з циклом 30 сек., що відповідно складає 4380 год. Гарантований термін служби світлофора становить 10 років тому прийmemo повний час роботи  $t_{нов} = 43\ 800$  год.

### 3.2.1 Розрахунок потужності, що споживається світловою точкою

Розрахунок проводимо для світлодіодної точки яка працює за схемою живлення із трансформатором, дана схема представлена на рисунках 2.16 та 2.17.

В даному випадку схема містить 120 штук світлодіодів, споживана потужність світлодіодами становить:

$$P_{120} = P_{cd} \cdot 120 = 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot 120 = 0,0079 \text{ кВт} \quad (3.44)$$

де  $P_{120}$  – кількість світлодіодів в світловій точці світлофора, кВт;

$P_{cd}$  – потужність одного світлодіода, год;

Втрати в схемі становлять 2 %, тобто:

$$P_{cx} = 0,02 \cdot P_{120} = 0,02 \cdot 0,0079 = 15,8 \cdot 10^{-5} \text{ кВт} \quad (3.45)$$

Втрати в трансформаторі становлять:

$$P_{mp} = P_{cm} + P_m = 0,187 + 1,88 = 2,067 \text{ Вт} \quad (3.46)$$

де  $P_{cm}$  – втрати в сталі трансформатора;

$P_m$  – втрати в міді трансформатора.

Загальна споживана потужність світловою СД точкою становитиме:

$$P_3 = P_{120} + P_{cx} + P_{mp} = 7,9 \cdot 10^{-3} + 15,8 \cdot 10^{-5} + 2,067 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ кВт} \quad (3.47)$$

### 3.2.2 Розрахунок економічного ефекту від заміни теплових джерел світла на світлодіоди

Розрахуємо величину економічного ефекту від заміни ламп розжарювання (ЛР) і галогенних ламп (ГЛР) на еквівалентні за світловими параметрами світлодіоди (СД) для світлової точки світлофора, вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку заміни джерел світла

Тип ДС	$P_{ДС}$ , Вт	$\tau_{ДС}$ , год	$C_{ДС}$ , грн.	$C_{ЗМ}$ , грн.	Тариф на ЕЕ $q$ , грн./кВт·год.
Г 245-255-100С	100	1000	1,5	0,26	1,68
HalogenA Pro 4	100	4000	28,4	0,37	
OVLFX3C7	0,066	50000	738	1	

Визначаємо вартість електроенергії, яку споживають ДС за середню тривалість світіння того ДС, у якого більший термін служби (у нашому випадку це світлодіоди з терміном 50000 год.):

$$C_{ел} = P_{ДС} \cdot \tau_{ДС} \cdot q \quad (3.48)$$

де  $P_{ДС}$  – потужність джерела світла, кВт;

$\tau_{ДС}$  – середня тривалість світіння джерела світла, год;

$q$  – тариф на електроенергію.

$$\text{Для ЛР і ГЛР - } C_{ЛР} = 0,1 \cdot 50\,000 \cdot 1,68 = 8\,400 \text{ грн.}$$

$$\text{Для СД - } C_{СД} = 0,0079 \cdot 50\,000 \cdot 1,68 = 664 \text{ грн.}$$

Визначаємо кількість ЛР і ГЛР, які потрібно придбати для забезпечення безперебійної роботи світлофора, в нашому випадку протягом 50000 год.

$$n_{ДС} = \tau_{ДС} / \tau_{СД} \quad (3.49)$$

$$\text{Для ЛР - } n_{ЛР} = 50000 / 1000 = 50 \text{ шт.}$$

$$\text{Для ГЛР - } n_{ГЛР} = 50000 / 4000 = 13 \text{ шт.}$$

Визначаємо витрати, пов'язані з заміною перегорілих джерел світла:

$$C_{3M} = (n_{ДС} - 1) \cdot C_{3M} \quad (3.50)$$

де  $C_{3M}$  – ціна заміни джерела світла, грн.

$$\text{Для ЛР - } C_{3MLP} = (50 - 1) \cdot 0,26 = 12,74 \text{ грн.}$$

$$\text{Для ГЛР - } C_{3MGLP} = (13 - 1) \cdot 0,37 = 4,44 \text{ грн.}$$

Визначаємо загальні витрати на обслуговування світлофора з різними джерелами світла протягом гарантованого терміну служби світлофора (10 років):

$$C_{\Sigma DC} = C_{ел DC} + n_{DC} \cdot C_{DC} + C_{3M} \quad (3.51)$$

де  $C_{DC}$  – ціна джерела світла, грн;

$n_{DC}$  – кількість джерела світла, шт.

$$\text{Для ЛР - } C_{\Sigma LP} = 4405 + 50 \cdot 1,5 + 12,74 = 4492,74 \text{ грн.}$$

$$\text{Для ГЛР - } C_{\Sigma GLP} = 4405 + 13 \cdot 28,4 + 4,44 = 4778,64 \text{ грн.}$$

$$\text{Для СД - } C_{\Sigma CD} = 348 + 1 \cdot 738 = 1086 \text{ грн.}$$

Визначаємо величину економії від впровадження світлодіодних джерел світла на місце ЛР і ГЛР за 10 років:

$$\Delta C = C_{\Sigma DC} - C_{\Sigma CD} - (C_{ДЕП} - C_{\lambda}) \quad (3.52)$$

де  $C_{\lambda}$  – втрати від інфляції на прибуток від грошей розміщених в банк на депозит (у нас  $\lambda = 12\%$ ) тому  $C_{\lambda} = 177,12$  грн.

$$\text{Для ЛР - } \Delta C = 4492,74 - 1022,4 - (1476 - 177,12) = 2171,46 \text{ грн.}$$

$$\text{Для ГЛР - } \Delta C = 4778,64 - 1022,4 - (1476 - 177,12) = 2457,36 \text{ грн.}$$

Витрати які обумовлені експлуатацією ЛР і ГЛР протягом 10 років з умовою, що гроші на придбання СД модуля покладені в банк під  $20\%$  і інфляція становить  $\lambda = 12\%$ .

$$C_{\Sigma} = C_{\Sigma DC} - (C_{ДЕП} - C_{\lambda}) \quad (5.12)$$

$$\text{Для ЛР - } C_{LP\Sigma} = 4492,74 - (1476 - 177,12) = 3193,86 \text{ грн.}$$

$$\text{Для ГЛР - } C_{GLP\Sigma} = 4778,64 - (1476 - 177,12) = 3479,76 \text{ грн.}$$

Розрахуємо термін окупності від заміни теплових джерел світла в світлофорних світлових точках на світлодіодні модулі:

$$\text{Для ЛР} - T_{\text{окЛР}} = \frac{1086}{3406,74} = 0,32 \text{ року.}$$

$$\text{Для ГЛР} - T_{\text{окГЛР}} = \frac{1086}{3692,64} = 0,29 \text{ року.}$$

Таблиця 3.2 – Результати економічного розрахунку

Розрахункові величини	Джерела світла		
	Лампи розжарення	Галогенні лампи розжарення	Світлодіодні модулі
Ціна джерела світла, грн.	1,5	28,4	738
Термін служби джерел світла, год.	1000	4000	50000
Тариф на електричну енергію, грн./кВт×год.	0,881		
Вартість спожитої енергії, грн.	4405	4405	348
Витрати на заміну і придбання джерел світла, грн.	87,74	373,64	738
Загальні витрати на обслуговування світлофора протягом 10 років ,грн.	4492,74	4778,64	1086
Величина прибутку від розміщення грошей на депозит за 10 років, грн.	-	-	1476
Витрати на експлуатацію ДС з умовою, що гроші покладено на депозит, грн.	3193,86	3479,76	-
Економічний ефект за 10 років, грн.	3406,74	3692,64	-
Економія від впровадження джерел світла з врахуванням депозиту, грн.	2171,46	2457,36	-
Термін окупності, років	0,32	0,29	-

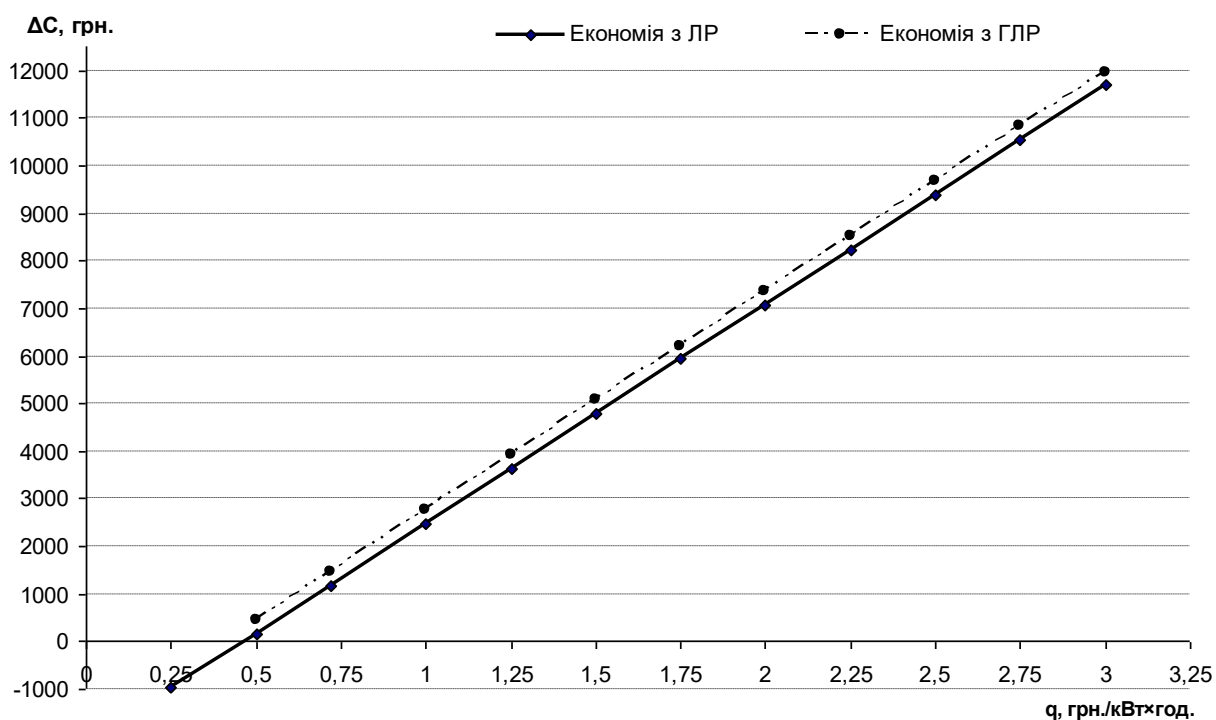


Рисунок 3.1 – Величина економії від впровадження світлодіодних джерел світла

### 3.3 Висновки до розділу 3

Проведений розрахунок економічної ефективності від заміни різних джерел світла у світлофорах при обслуговуванні їх протягом 10 років показав, що заміна ламп освітлення на еквівалентні за світловими параметрами світлодіоди зменшить загальні витрати на обслуговування обладнання в 3,6 рази, а при заміні галогенних ламп на світлодіоди – в 3,9 рази. Економія від впровадження світлодіодів замість ламп освітлення протягом 10 років експлуатації із врахуванням прибутку від депозиту за ці роки становить 2171,46 грн., а термін окупності при цій заміні становить 0,32 року. Економія від заміни галогенних ламп на світлодіодні модулі із врахуванням прибутку від депозиту буде 2457,36 грн., а термін окупності при цій заміні становитиме 0,29 року.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Заходи щодо захисту системи дорожньої сигналізації, що проектується, від короткого замикання і перенавантаження**

Охорону праці і техніку безпеки при роботі електроустановок та іншого обладнання забезпечують організаційно-запобіжними, інженерно-технічними захисними заходами безпечними контрольно-вимірювальними приладами. Безпечне обслуговування електроустановки (ЕУ) в першу чергу залежить від умов її експлуатації.

Згідно ДСТУ 4092-2002 конструкція світлофора повинна забезпечувати захист обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом згідно з ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное» Неізольовані струмопровідні частини, що перебувають у робочому стані під електричною напругою, яка перевищує 42 В відносно корпусу, повинні бути захищені щитками з діелектричного матеріалу згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические».

Оскільки світлофорне обладнання цілий рік перебуває під дією атмосферного середовища, враховується вплив опадів, вологи, пилу на його роботу, зокрема на ізоляцію. Якість ізоляції характеризується, насамперед, її опором протіканню електричного струму. Відповідно до ПУЕ опір ізоляції в електроустановках напругою до 1000 В повинен складати величину  $R_{iz} \geq 0,5$  МОм. Щоб робота системи була надійною та безперебійною, вибираємо ізоляцію, згідно з існуючою класифікацією електроприладів щодо електробезпеки та правил їх обладнання.

В залежності від умов електробезпеки і вибухобезпеки ЕУ за способом

виконанням поділяється на: відкриті; захищені від сторонніх тіл (крім крапель рідини, пилу і т.п.); закриті від дотику людей під час роботи; бризкозахисні; водозахисні; герметичні, у які не проникає вода; хімічностійкі; вибухобезпечні.

Надмірне перегрівання проводів та обмоток системи дорожньої сигналізації може призвести до спалахування ізоляції і загорання світлофора. Щоб уникнути цього, застосовують запобіжники.

Згідно вимог охорони праці і техніки безпеки для захисту ЕУ від перевантаження дозволяється застосовувати вимикачі, запобіжники, понижуючі трансформатори та інше обладнання.

Апарати захисту за своєю відключаючою здатністю відповідають максимальному значенню струму короткого замикання на початку захищеної ділянки електричного кола.

Плавкі запобіжники служать для захисту ЕУ від надмірного підвищення струму. Якщо величина струму стає більшою за допустиму, запобіжник розплавляється і перериває електричне коло. На більш відповідальних ділянках для захисту застосовують автомати. Конструктивно запобіжники бувають пробкові, пластинчасті і трубчасті. Номінальні струми плавких вставок запобіжників і струму вставок автоматичних вимикачів, що служать для захисту окремих ділянок кола, у всіх випадках слід вибирати по можливості найменшими по розрахунковому струму цих ділянок або по номінальним струмам електроприймачів, але таким чином, щоб апарати захисту не відключали ЕУ при короткочасному перевантаженні.

Для забезпечення швидкодії, чутливості або селективності допускається при необхідності застосування пристроїв захисту з використанням виносних реле (реле непрямої дії).

Кожен апарат захисту має напис, що вказує значення номінального струму апарата, вставки розчеплювача і номінального струму плавкої вставки, якого потребує данне коло.

Система роботи світлофора працює при безпечній напрузі, тобто засто-



совуються понижувальні трансформатори. Використовувати в цих умовах авто-трансформатори або додаткові опори забороняється, бо людина, що випадково доторкнулася до їх струмоведучих частин, може опинитися під небезпечною напругою.

Для живлення світлофорного поста всесоюзним науково-дослідним інститутом охорони праці була розроблена конструкція безпечного понижувального трансформатора на 220/12 В, який відповідає всім вимогам електробезпеки при користуванні дорожніми світлофорами і який використовується в дипломному проекті.

#### **4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок**

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувані: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається

випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню. При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться: оформлення роботи по наряд-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації; допуск до роботи; нагляд під час роботи; оформлення перерви під час роботи; переводи на інше робоче місце.

Наряд-допуск - це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час її початку та закінчення, умови її безпечного виконання, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. Відповідальними за безпечне виконання робіт є: особа, що видала наряд; котра дає розпорядження; особа, що допускає до роботи; керівник роботи; виконавець роботи; спостережник; член бригади.

Всі роботи, котрі виконуються в ЕУ без наряду, виконуються: за розпорядженням осіб, уповноважених на це, з оформленням в оперативному журналі; в порядку поточної експлуатації з подальшим записом в оперативному журналі.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, що визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки. Воно має разовий характер, видається на один вид роботи і діє протягом однієї зміни.

За розпорядженням можуть виконуватись: позапланові роботи, викликані виробничою необхідністю, тривалістю до 1 год.; роботи без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою, тривалістю не більше однієї зміни; роботи зі зняттям напруги з електроустановок напругою до 1000 В тривалістю не більше однієї зміни.

Поточна експлуатація- це проведення оперативним персоналом самостійно на закріпленій за ним ділянці протягом однієї зміни робіт за спеціальним переліком.

До організаційних заходів відноситься складання, відповідальним за електрогосподарство, переліку робіт стосовно конкретних умов.

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться: необхідні вимкнення та вжиття заходів, котрі запобігають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або довільного ввімкнення комутаційної апаратури; вивішування на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комунікаційної апаратури (автомати, рубильники, вимикачі) забороняючих плакатів; перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах; накладання заземлення; вивішування попереджувальних та припису вальних плакатів, огороження, при необхідності, робочих місць та струмоведучих частин, які залишились під напругою.

При експлуатації системи дорожньої сигналізації основною небезпекою є ураження електричним струмом. Для створення умов безпеки потрібно виконувати викладені вище правила техніки безпеки.

### **4.3 Вимоги пожежної безпеки до електрообладнання**

Зростаючий рівень технічного оснащення підприємств, ускладнення виробничих процесів супроводжуються зростанням енергоємності виробництв, високою концентрацією потужностей і матеріалів, застосуванням полімерних синтетичних матеріалів, зростанням площ та поверховості виробничих будівель. За таких умов недодержання вимог пожежної безпеки призводить до великих економічних збитків та людських жертв.

Використання електроприладів, електроустаткування та електромереж становить велику небезпеку з погляду пожежної безпеки. Існує низка вимог

пожежної безпеки стосовно експлуатації ЕУ, до основних з яких відносяться:

- ЕУ повинні бути справними, ізоляція не ушкоджена;
- ЕУ, які при нормальній роботі іскрять, повинні розташовуватися не ближче 1 м від горючих матеріалів чи відокремлюватися від них вогнетривкими екранами;
- переносні споживачі електроенергії обладнують гнучким кабелем з мідними жилами з врахуванням їх захисту від можливих пошкоджень;
- відстань між світильниками ламп розжарювання і предметами з горючих матеріалів повинна бути не менше 0,2 м.
- електронагрівальні прилади заборонено використовувати в пожежонебезпечних приміщеннях, архівах, музеях, інших об'єктах непромислового виробництва, при їх можливій експлуатації температура зовнішньої поверхні в найбільш нагрітому місці при нормальній роботі повинна бути не більше 85°C;
- заборонено використання побутових електронагрівальних приладів (чайників, кип'ятильників, прасок) без вогнетривких підставок і в місцях, де їх застосування не передбачене чи заборонене керівником об'єкта;
- підключення нових ЕУ має здійснюватися з обліком допустимого струмового навантаження електромережі.

Гасіння пожежі ЕУ, що не знаходяться під напругою, допускається будь-якими гасячими засобами, включаючи воду.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено актуальне завдання, що полягає створенні високоефективного світлофорного обладнання, світлові характеристики якого були б значно кращими від існуючих, а споживання електроенергії значно нижчим.

В кваліфікаційній роботі були вирішені такі завдання:

1. Завдяки розвитку новітніх технологій у галузі напівпровідникової світлотехніки вперше з'явилась можливість створення світлофорів з використанням світлодіодів

2. Лампа освітлення має ККД 1,25-2,5 % і термін експлуатації 1000 год., тоді як світлодіод - 60-70 %, а термін його служби перевищує 500 000 год.

3. Світлодіоди дозволяють одержувати світлові точки з необхідним спектром випромінювання, при цьому вся електроенергія використовується тільки на одержання випромінювання заданого вузького діапазону.

4. В лампах освітлення співвідношення інтенсивностей випромінювання червоної та синьої частини спектру є величиною постійною, тоді як у світлодіодному випромінювачі за кожен частину спектру відповідає своя група світлодіодів, що дає можливість окремо керувати інтенсивністю випромінювання.

5. Менше енергоспоживання СД і великий термін служби дозволяють значно зменшити експлуатаційні витрати, і відповідно зменшити термін окупності виробів.

6. Екологічно чисте виробництво СД, відсутність проблем з утилізацією а також висока стійкість СД до механічних пошкоджень і робота в широкому діапазоні температур ставлять СД на перше місце серед ДС які можуть використовуватись у системах дорожньої сигналізації.

Для технологічних виробництв розроблені заходи безпеки, збереження здоров'я, працездатності працівників під час виконання службових обов'язків, а також зменшення або запобігання впливу шкідливих факторів.

Варто очікувати, що вже у найближчі роки параметри СД підвищаться в декілька разів, а вартість їх помітно знизиться. Це може призвести до того, що СД стануть конкурентноздатними ДС у повсякденному житті.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Литвинов В.С., Рохлин Г.Н. Тепловые источники оптического излучения. – М.: Энергия, 1975 – 246 с.
2. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. – М.: Энергия, 1968 – 392 с.
3. Вугман С.М., Волков В.И. Галогенные лампы накаливания. – М.: Энергия, 1980 – 136с.
4. Ваккер А, Мюллер С. Источники света: ситуация 2000. // Светотехника. – 2001, №2. – с. 11-13.
- Юнович А.Э. Ключ к синему лучу или о светодиодах и лазерах, голубых и зеленых. – Химия и жизнь, 1999, №5.
5. Медведев Ю., Борисов К. LED-никовый период. Иллюминатор – журнал световых решений. – Россия, 2003, №1 (3), с. 1–8.
6. Долин Е.В. Новое поколение долговечных, экономных, антивандальных систем освещения на отечественных сверхярких светодиодах. – Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Россия, 2002. № 12. С. 5–
7. Кунгс Я.А., Фаермарк М.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.: ил.
8. Носанов М.І., Тимченко В.І. та ін. Лампа на основі над'яскравих світлодіодів комбінована. Патент України на корисну модель №24232. Бюл. №9, 2007.
9. Носанов М.І., Тимченко В.І. та ін. Лампа на основі над'яскравих світлодіодів. Патент України на корисну модель №23388. Бюл. №7, 2007.
10. А.С. Литвиненко, О.В. Прусихин // Український метрологічний журнал.-2002. - вип. 2. – с. 48-50.

11. Н.В.Замирец, В.Н.Борщев, А.М.Листратенко, В.А.Антонова, Л.П.Семенов, М.А.Проценко, И.Т.Тымчук Аллюминиевая «Chip on flex» (COF) технология в радиационном приборостроении // Технология приборостроения – 2007. 2.– С.3 – 9.
12. Патент Украины на изобретение № 83968 от 26.08.2008 «Способ изготовления гибкого светодиодного модуля».
13. В.Волков, А. Закгейм, Г. Иткинсон и др. «Мощные полупроводниковые источники излучения. Второе пришествие СИД». Электроника №1, 2006 г.
14. Материалы симпозиума фирмы Hewlett – Packard. «Оптоэлектроника в автомобиле завтрашнего дня». – М., февраль 1997 г.
15. Світлофори дорожні. ДСТУ 4092-2002.
16. В.И. Осинский, И. А. Тучинский, В.Д. Жора и др. «Flip Chip технология сборки сверхъярких светодиодов на гибком полиимидном носителе» Электроника и связь ч.2, 2006 г.
17. Осинский В.И., Вербицкий В.Г., Салюта В.Г., Кожемяко В.П., и др. Получение и свойства многокристалльных сверхъярких диодных источников света// Электроника и связь. Тематический выпуск “Проблемы электроники” – 2006. – ч.2. – С. 21–28.
18. Осинский В.И., Вербицкий В.Г. Зонная инженерия: ионная реализация виртуальных квантоворазмерных гетероструктур наноэлектроники // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – №1. – С. 169-184.
19. Бойко М.П., Вербицкий В.Г., Завалишин В.А., Ляхова Н.Н., Николаенко Ю.Э., Осинский В.И., Радкевич А.И., Рубанчук А.Н. Тепловые процессы при динамическом питании матриц сверхъярких светодиодов // Электроника и связь. – 2006. – № 2. – С.5-10.
20. Осинский В.И, Радкевич А.И., Рубанчук А.Н., Шеревеня А.Г.. Микропроцессорное управление диодными источниками белого света //III Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия- структуры и приборы» -М.:МГУ,07-09 июня 2004. – С.166–167.



21. Осинский В.И., Тучинский И.А., Жора В.Д. и др. Flip-chip технология сборки сверхярких светодиодов на гибком полиимидном носителе // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». – 2006. - ч.2. – С. 5-8.

22. Пат.6507159 США, МКИ H05 В 37. Controlling method and system for RGB based LED luminary: Пат.6507159 США, МКИ H05 В 37 S.Muthu (США); Koninklijke Philips Electronics N.V., - № 820517; Заявл.29.03.2001; Опубл. 14.01.2003, НКИ 315/307. – 10 с.

23. Радкевич А.И., Вербицкий В.Г., Завалишин В.А., Осинский В.И. Энергетическая эффективность твердотельных интегральных источников белого света. "Транспортные системы и технологии": Зб.наук. пр. - К.: КУЕТТ, выпуск 10 2006.–С. 101–108.

24. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов: Учеб. Пособие для втузов/ Л. А. Астреина, В. В. Балдесов, В. К. Беклешов и др.; Под ред. В. К. Беклешова. – М.: Высш. шк., 1991. – 176 с.: ил.