

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Підвищення ефективності світлодіодних систем освітлення шляхом впровадження автоматизованого керування їх роботою**

Виконала: студентка _____ курсу _____ ЕТЗс-
_____ групи _____
спеціальнос
ті _____ 141

електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) **Годчук О.С.**
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис) **Філюк Я.О.**
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис) **Вакуленко О. О.**
(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис) **Тарасенко М. Г.**
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис) _____
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 08 » лютого 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Тодчук Олені Сергіївній
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності світлодіодних систем освітлення шляхом
впровадження автоматизованого керування їх роботою

Керівник роботи ... Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 1 » лютого 2022 року № 4/7-75

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи _____

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)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Вакуленко О. О., ст. викладач кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання 08 лютого 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	26.02.2022	
2	Аналітичний розділ	31.03.2022	
3	Проектно-конструкторський розділ	16.04.2022	
4	Розрахунковий розділ	30.04.2022	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	14.05.2022	
6	Висновки	31.05.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2022	
8	Оформлення графічної частини	10.06.2022	

Студент

_____ (підпис)

Тодчук О.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Філюк Я.О.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТзс–41. - Т. : ТНТУ, 2022.

Стор.68; рис.36; табл.6;джерел 14; додатків 2.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Підвищення ефективності світлодіодних систем освітлення шляхом впровадження автоматизованого керування їх роботою».

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробці енергоефективної світлодіодної системи освітлення з елементами автоматизованого керування їх роботою.

Проведено моделювання конструкції світлодіодної матриці, що дозволило здійснити оптимізацію температурних режимів та використати дану конструкцію у системах освітлення для підвищеної надійності та довговічності.

Проведено дослідження світлотехнічних характеристик потужних світлодіодів за різних температурних режимів. Отримані експериментальні дані, що дозволяють створити оптимальну конструкцію світлодіодної лампи під критерії мінімальної температури робочої поверхні лампи.

Створено експериментальну установку, за допомогою якої отримано оптимальні режими роботи світлодіодної освітлювальної системи для внутрішнього освітлення, підтверджені теоретичними розрахунками.

Ключові слова: автоматизоване керування, світлодіод, комп'ютерне моделювання, світлодіодний пристрій.

ЗМІСТ

Реферат	3
Вступ	5
1 Аналітичний розділ	7
1.1 Особливості використання світлодіодів в освітлювальних установках	7
1.2 Висновки до розділу	17
2 Проектно–конструкторський розділ	18
2.1 Комп'ютерне моделювання конструктивних параметрів світлодіодної матриці з метою підвищення тепловіддачі	18
2.2 Розробка конструкції світлодіодного освітлювального приладу	25
2.3 Забезпечення рівномірності освітлення робочих приміщень методом статистичного моделювання конструктивних рішень	30
2.4 Висновки до розділу	40
3 Розрахунковий розділ	41
3.1 Експериментальні дослідження системи автоматизованого керування світлодіодним освітленням	41
3.2 Розробка експериментальної установки світлодіодного освітлення	48
3.3 Аналіз експериментальних даних	52
3.4 Висновки до розділу	58
4 Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	59
4.1 Безпека при виготовленні друкованих плат	59
4.2 Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж	61
4.3 Проведення планування заходів цивільного захисту на підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій	63
Загальні висновки	66
Перелік посилань	67

ВСТУП

Актуальність роботи. Проблема раціонального використання електроенергії в умовах обмеженості енергетичних ресурсів та зростання їх споживання одна з найактуальніших, а її вирішення стає стратегічним завданням для багатьох держав. Тривала світова економічна криза, неухильне зростання цін на природні енергоресурси, питання охорони навколишнього середовища, зниження викидів шкідливих речовин та парникових газів в атмосферу диктують необхідність вирішення питань енергозбереження та енергоефективності.

Істотна економія освітлення може бути досягнута завдяки застосуванню нових напівпровідникових (світлодіодних) джерел світла та розробці світлових приладів на їх основі. Світовий досвід свідчить, що вуличне та внутрішньоофісне освітлення з врахуванням автоматизації світлодіодних технологій покращує якість життя, одночасно забезпечуючи енергоефективність, тобто. економічну вигоду та екологічну безпеку. Лідер у галузі світлодіодної технології компанія Philips Lighting впровадила LED технології в 15-ти поверховій будівлі The Edge в Амстердамі, де встановлено 6,5 тис. ламп з економічним ефектом 100 тис. євро на рік, вуличне освітлення в Лос-Анджелесі з річним ефектом 10 млн. доларів. що розвитку галузі перешкоджає: недостатнє фінансування; необхідність постійного вдосконалення технології; незадовільне висвітлення у засобах масової інформації отриманих результатів.

Основним елементом напівпровідникової світлотехніки є світлодіод. Світлодіоди мають високі техніко-економічні показники (висока світлова віддача, тривалий термін служби, висока надійність, простота в обслуговуванні, економічна ефективність), мають широку гаму кольорів, конфігурації та потужності. На відміну від традиційних джерел світла напівпровідникова світлотехніка має низку переваг за умовами застосування: екологічно безпечна, має високу механічну міцність та вібростійкість, у випромінюваному світлі відсутнє шкідливе ультрафіолетове випромінювання та стробоскопічний ефект, інерційність при включенні світильників та добре працює при зниженій температурі. Окремо слід виділити можливість регулювання світлового потоку світлодіода у широкій смузі частот.

Існуючі енергоефективні світлодіодні системи освітлення мають ряд недоліків, які знижують темпи їх впровадження – невідповідність заявленого терміну служби за рахунок насамперед перегріву світлодіодів та недосконалості конструкцій світлодіодних ламп.

Підвищення ефективності світлодіодних систем шляхом впровадження автоматизованого керування їх роботою

Тому поставлене в роботі завдання підвищення ефективності світлодіодних технологій освітлення усуває зазначені недоліки шляхом впровадження автоматизованого керування їх роботою, отримуючи при цьому суттєвий економічний ефект, що є, безперечно, актуальним.

Мета роботи. Розробка енергоефективної світлодіодної системи освітлення з елементами автоматизованого керування їх роботою.

Завдання які потрібно виконати для досягнення поставленої:

- 1) Провести аналіз сучасного стану функціонування та розвитку світлодіодної технології освітлення.
- 2) Дослідити теплопередачу у типових потужних білих світлодіодах.
- 3) Змоделювати світлодіодну систему освітлення з метою отримання оптимальних параметрів.
- 4) Розробити експериментальне устаткування автоматизованого керування світлодіодним освітленням.
- 5) Провести експерименти автоматизованої системи керування світлодіодним освітленням з метою аналізу отриманих результатів та оцінки її ефективності.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Особливості використання світлодіодів в освітлювальних установках

З появою світлодіодів білого світла [5] відкрилася можливість використання таких світлодіодів у системі освітлення. При цьому необхідно було вирішити дві основні завдання – забезпечити стабілізований струм світлодіода та відведення тепла від кристала світлодіода.

Перше завдання було вирішено за допомогою використання у джерелах живлення (драйверах) мікроконтролерів [6]. Така технологія дозволила створити недорогі джерела живлення із досить високою стабілізацією струму [7,8].

Важливість джерела живлення у системі світлодіодного освітлення підтверджується даними консорціуму надійності світлодіодних систем (LSRC) департаменту енергетики США (рис. 1.1). Видно, що основна причина збоїв у роботі світлодіодних світильників полягає у виході з експлуатації джерела живлення. Саме джерело живлення визначає надійність освітлювального приладу та впливає на ефективність роботи усїєї системи освітлення.

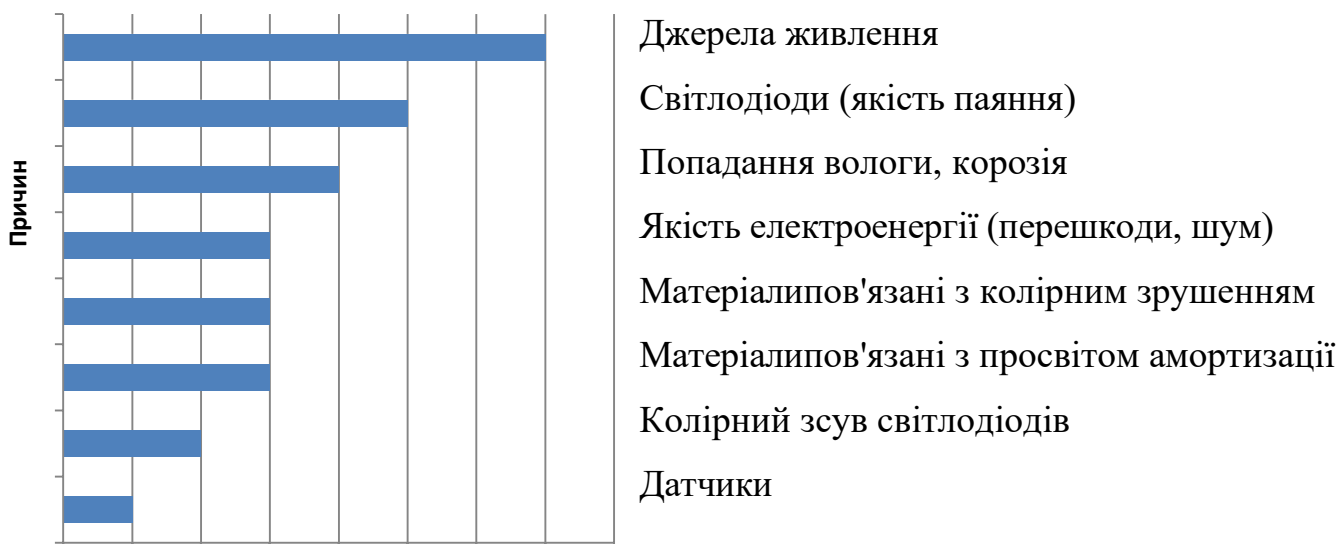


Рисунок 1.1 – Причини виходу з експлуатації світлодіодних систем освітлення

Друге завдання має також велике значення. Вирішено її шляхом використання пасивних радіаторів у промислових світлодіодних світильниках.

Однак великі перепади температури довкілля від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ призводять до підвищення температури кристала та його деградації.

Крім цього на рис 1.1 можна виділити параметри, що впливають на температурний режим роботи світлодіода, а саме якість паяння та попадання вологи з корозією. При неякісному розпаюванні світлодіода може збільшитися опір контакту паяння, а отже, зросте теплова потужність. Аналогічно до підвищення температури призведе попадання вологи та корозія радіатора. Тому вплив даних параметрів призводить до виходу з експлуатації світлодіодного приладу раніше часу.

Розглянемо приклади розв'язання цих завдань у промислових пристроях світлодіодного освітлення.

Виробниками інтегральних мікросхем пропонується багато рішень джерел живлення із мікрочіпами для потужних білих світлодіодів [10 – 14]. Можна виділити фірми Texas Instruments (США), Microchip (США), Maxim (США), ON Semiconductor (США), STMicroelectronics (Швейцарія), ZETEX Semiconductors (Великобританія), MeanWell (Тайвань), Makroblock (Тайвань), Roh).

Усі вище перелічені фірми пропонують на ринку готові драйвери для світлодіодів різної потужності. Дані драйвери представляють залиті епоксидною смолою схеми включення мікросхеми або виконані у вигляді металевого корпусу, всередині якого зібраний драйвер, зазвичай без будь-яких регулювань параметрів драйвера та функцій керування. В обох випадках у готових модулях є лише вхідні та вихідні контакти, до яких підключаються з одного боку лінійка світлодіодів, а з іншого – напруга живлення.

При використанні готових джерел живлення неможливо використовувати нестандартні режими увімкнення світлодіодів, різні конфігурації конструкцій освітлювальних приладів (ОП). Крім цього про оптимізацію роботи таких пристроїв у системах освітлення не йдеться.

Фірма Rohm Semiconductor [15,16] випускає лінійку мікросхем, що забезпечує харчування до 247 світлодіодів. Всі мікросхеми мають ШІМ регулювання та високу стабілізацію струму (при 350mA точність становить $\pm 4\%$). Дані мікросхеми в основному використовуються для підсвічування рідкокристалічних екранів, архітектурно-декоративного освітлення.

Лінійка мікросхем фірми ON Semiconductor [17,18] використовується для світлодіодів потужністю від 1 Вт до 7 Вт, регулювання струму здійснюється за рахунок зміни напруги. При цьому тільки одна мікросхема CAT4101 має ШІМ регулювання та призначена для живлення світлодіодів потужністю понад 5 Вт. За точністю установки струму фірма виробник дає значення $\pm 10\%$. У мікросхемах реалізований гістерезисний захист від перегріву, який спрацьовує за температури $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. ККД перетворювача становить 87% .

Дані мікросхеми часто використовують у автомобільної промисловості.

Популярні мікросхеми для живлення та керування світлодіодами виробляє фірма Texas Instruments [19, 20]. Призначені для живлення світлодіодів потужністю 1 Вт – 3 Вт, при цьому точність стабілізованого струму становить 8% . Особливістю є вбудований підсилювач помилки зворотного зв'язку, а також генератор опорного струму, що виробляє струм залежно від вхідної напруги. Мікросхеми мають захист від перенапруги. Можна відзначити недолік у вигляді наявних пульсацій вихідного струму більше на кілька відсотків, ніж у інших аналогічних мікросхемах. І хоча цей недолік можна усунути шляхом збільшення потужності конденсатора у вторинному схемі швидкість обробки змін струму зворотного зв'язку знизиться.

Недорогим та ефективним знижувальним драйвером керування білими світлодіодами є мікросхеми фірми Makroblock [11,22]. Є частотно-імпульсний понижувальний перетворювач з гістерезисним методом керування вихідним струмом. Даний метод керування виключає потребу в ланцюгах компенсації контуру регулювання та зменшує кількість використовуваних компонентів, що спрощує проектування джерела живлення. Драйвер має високе значення ефективності до 96% при вхідній напрузі 12 В і навантаження що складається з ланцюжка трьох послідовних світлодіодів зі струмом 350 мА. У той же час незважаючи на хороші характеристики керування стабілізація струму становить більше 10% , що погіршує режим роботи світлодіода, а отже і час його роботи.

Близькими характеристиками мають мікросхеми фірми ZETEX Semiconductors [23]. Дані мікросхеми переважно призначені для потужних світлодіодів від 1 Вт до 6 Вт. Мають ШІМ регулювання та систему захисних заходів від короткого замикання та перегріву корпусу. Типоваточність вихідного

струму составляет 4 %. До недоліків можна віднести вплив вхідної напруги на характеристики та стабільність вихідного струму.

Для живлення світлодіодів також можна використовувати стабілізатори напруги STMicroelectronics [24,25]. Для перетворення даних пристроїв на стабілізатор струму необхідно значно змінити схему увімкнення. При цьому зазвичай знижується загальний ККД пристрою за рахунок виділення додаткової потужності ланцюга зворотного зв'язку. Якщо поставити ціль не зменшувати ККД пристрою, тоді необхідно використовувати додатково в схемі живлення світлодіодів операційний підсилювач для посилення напруги датчика струму. Тому, незважаючи на низьку вартість мікросхем цієї фірми, використання вимагає ускладнення схеми включення. Фірма також має лінійку мікросхем, що видають на вихід стабілізований струм. Мікросхема випускається з вихідним струмом 0.5 А, 1,5 А та 2 А. Мікросхеми мають напругу живлення від 4,5 до 40 В.

Широкий діапазон використання світлодіодних освітлювальних систем мають мікросхеми фірми MeanWell [26–28]. На основі даних мікросхем створено драйвери для світильників різних потужностей від 1 Вт до 100 Вт. Відрізняються від інших аналогічних мікросхем високим ККД та ефективним керуванням потужністю світлодіодів з використанням трьох варіантів регулювання потужності – ШИМ регулювання, регулюванням зовнішньою постійною напругою та регулювання за допомогою підрядного резистора. Єдиним недоліком лінійки мікросхем фірми MeanWelle відносно високою ціною. І при цьому зазвичай фірма продає драйвер повністю, а не окремо мікросхеми.

Мікросхеми фірми Maxim [29,30] призначені для роботи зі світлодіодами у широкому діапазоні потужностей. Переваги полягають у низькій вартості, простоті включення, а також високої точності стабілізації струму. Відхилення від встановленого струму становить від 2 до 5 %. Однак для реалізації драйверів при включенні мікросхеми необхідний додатковий каскад зниження напруги живлення мікросхеми.

Можна виділити мікросхеми драйверів фірми Microchip (раніше фірма Supertex) [31 -33], які знайшли широке застосування в драйверах для потужних білих світлодіодів завдяки простоті схемного рішення і низької вартості. Використання мікросхем Microchip дозволяє створювати драйвери без

гальванічної розв'язки від мережі та без коректора коефіцієнта потужності. Вихідний каскад типової мікросхеми має каскадну схему включення, що дозволяє знизити втрати при перемиканні високої напруги, тим самим підняти загальну ефективність перетворювача. Драйвери мають захист від обриву ланцюга світлодіодів, від перенапруги на виході та від перегріву. Слід зазначити, що знизити тепловиділення мікросхеми можна включивши в ланцюг живлення стабілітрон на 100 В – 200 В, і на цю величину знизити напругу живлення мікросхеми, а відповідно знизити потужність, що розсіюється. В даний час мікросхеми фірми відрізняються від інших кращими характеристиками за точністю та стабільністю підтримки вихідного струму. Під час розробки власної світлодіодної системи освітлення нами було створено драйвер [34] на основі мікросхеми HV9910 компанії Microchip.

Причини відхилення струму фірмами-виробниками не наводяться.

Однак слід зауважити, що, мабуть, основною причиною є температурні зміни кристала світлодіода і як наслідок – зміна вольтамперних характеристик світлодіода. Є також додаткові обурення, що призводять до флуктуацій струму. Це може бути нестабільність зовнішньої мережі живлення, коливання температури мікросхеми, зміни внутрішніх опорів, індуктивності та ємності мікросхеми. У зв'язку з цим організація системи з елементами автоматизованого керування, що відстежує внутрішні та зовнішні невизначеності, дозволить забезпечити стабільніший струм і продовжити час роботи світлодіода.

Друге завдання спочатку вирішувалося із застосуванням пасивного охолодження, саме з використанням звичайних мідних або алюмінієвих радіаторів [35-38]. Однак навіть при використанні світлодіодів потужністю 1 Вт не завжди пасивне охолодження дозволяє підтримувати температуру кристала світлодіода нижче допустимої ($80^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$) [39]. Ця обставина підштовхнула до проведення безлічі теоретичних та експериментальних досліджень теплоперенесення від кристала світлодіода до підкладки та радіатора.

Більшість робіт із дослідження теплових характеристик світлодіодів застосовують наближені розрахунки на основі методу теплових опорів [40-45]. Точніші розрахунки засновані на використанні моделювання поширення тепла в кристалі та підкладці світлодіода. Одним із таких методів є використання моделі

електричної підсистеми, запропонованої М. Романовським та С. Єханіним у статті [46].

Для моделювання теплових процесів у світлодіоді з імпульсним живленням С.Шибайкіним та О.Мишонковим у роботі [47] пропонується використовувати рівняння балансу енергії, що підводиться до кристала і відводиться від нього за допомогою випромінювання та теплопередач. При цьому вивчення зміни температури активної області світлодіода з використанням даного методу не зовсім коректним. Цей підхід докладніше описаний А.Мишонковим у дисертації [48].

У роботі [74] досліджено системи охолодження потужністю 15 Вт та 30 Вт.

Наводяться експериментальні залежності температури в різних схемах охолодження: з використанням вентилятора і тільки пасивного охолодження. При використанні активного охолодження чіпів світлодіодів встановлюється температурний режим 1 – 2 хвилини та надалі температура залишається постійною. Однак за відсутності активного охолодження температура кристалів матриці світлодіодів навіть за 12 хвилин не встановлюється постійною та досягає 65 °С, тоді як із активним охолодженням робоча температура встановлюється 25 °С - 30 °С. Тут також слід зазначити, що проведені дослідження дозволяють реалізувати оптимальні системи освітлення високої потужності, але практично не можуть бути використані для організації внутрішнього освітлення. Такі системи вигідніше використовувати для зовнішнього освітлення або у великих промислових цехах та ангарах.

У роботі [75] детально досліджуються характеристики пристрою світлодіодного освітлення з використанням комбінованої системи охолодження, що включає елемент Пельтьє, металевий радіатор і вентилятор. В освітлювальному приладі було встановлено 6 світлодіодів потужністю 3 Вт кожен. Наводяться докладні температурні характеристики, які показують, що при використанні комбінованого охолодження можна забезпечити температуру світлодіодів до 9 °С Використання елемента Пельтьє дозволяє зменшити температуру кристала світлодіода. °С. Ця робота показує, що застосування елемента Пельтьє у системах освітлення дозволяє створювати системи керування за температурою.

MikaMaaspuro в роботі [76] проводить дослідження температурних режимів світлодіодів при використанні пасивної системи охолодження (радіатора) та активних систем охолодження (повітряного охолодження та термоелектричного компонента). Експериментальна установка включає драйвер світлодіода, який керує параметрами живлення. В результаті експериментів зі світлодіодним модулем типу XLAMP CXA2011 (фірми Cree) потужністю 14.1 Вт було отримано, що при використанні радіатора спільно та вентилятора температура світлодіода встановлюється через 700 сек. лише на рівні 40 °С. При включенні модуля Пельтьє у системі з радіатором та повітряним охолодженням температура встановлюється за проміжок часу 600 сек. на рівні 23 °С (при температурі навколишнього середовища 24 °С) з робочим струмом 2 А. Такі характеристики забезпечують можливість використання потужних та надпотужних світлодіодних матриць. При цьому дані світлодіоди будуть не схильні до деградації при тривалій експлуатації. Отримані експериментальні дані щодо зміни температури світлодіоду з часом з використанням різних систем охолодження добре узгоджуються з наведеним чисельним моделюванням методом теплових опорів.

З урахуванням розглянутих систем охолодження було розроблено та створено велику кількість освітлювальних приладів, що мають високі світлотехнічні характеристики [77-80].

Окремо можна виділити напрямок підвищення ефективності охолодження світлодіодів, пов'язане з оптимізацією конструкції самого кристала світлодіода, яке здійснюється шляхом нанесення на підкладку декількох кристалів світлодіодів [81] або розрахунку матриці [82,83].

У зв'язку з поточною тенденцією збільшення використання світлодіодних систем освітлення керування температурним режимом стає обов'язковим для досягнення оптимальної продуктивності та надійності системи.

Аналіз існуючих систем контролю та керування світлодіодним освітленням

За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), на мережне електричне освітлення в середньому витрачається 19 % світового виробництва електроенергії.[84]. Витрата всієї вироблюваної у світі електроенергії наведено рис. 1.2.

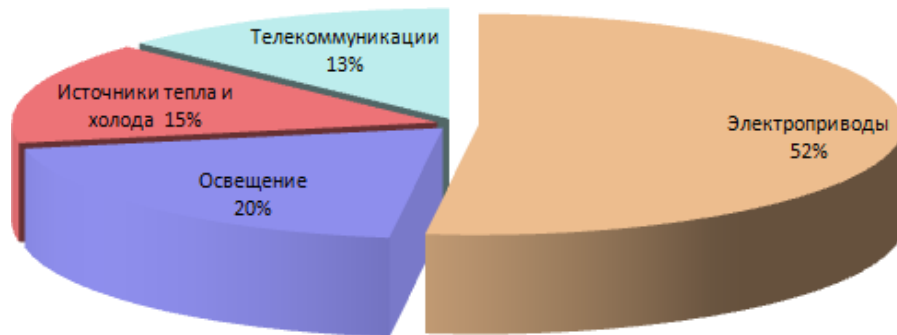


Рисунок 1.2 – Витрата електроенергії, що виробляється у світі

Проведений МЕА аналіз тенденцій економічного розвитку та енергоефективності, що існують у світі, дозволив спрогнозувати підвищення попиту на штучне освітлення на 60 % протягом найближчих 20 років. Без удосконалення технологій та запровадження політики енергоефективності такі темпи нарощування виробництва електроенергії призведуть до збільшення споживання енергоресурсів, більшість з яких є невідновлюваними, а також погіршення екологічної ситуації, пов'язаної зі збільшенням обсягів викидів вуглеводневого палива.

У зв'язку з такими значними витратами актуальним стає завдання підвищення ефективності висвітлення. У цілому нині це позитивно позначиться енергетичному балансі країни та екологічної ситуації, створюваної роботою електростанцій.

Існують два напрями технічного розвитку в галузі електричного освітлення. Перше полягає у вдосконаленні світловипромінюючих компонентів та конструкцій освітлювальних приладів: збільшення світлової віддачі джерела світла, зменшення питомої потужності; поліпшення світлотехнічних та енергетичних параметрів. Другий напрямок пов'язаний з розробкою методів та режимів експлуатації світлотехнічних виробів: оптимізація розміщення ламп залежно від призначення зорових завдань; ефективне використання природного світла з урахуванням добового циклу, пори року та світлокліматичного району; Використання систем керування освітленням (СУО).

Системи керування освітленням поділяються на автоматичні та автоматизовані з ручним керуванням та під керуванням ЕОМ.

Для забезпечення необхідних режимів СУО потрібна складна схема коригування роботи безлічі параметрів ВП. Типовими факторами, що відстежуються автоматичними СУО, є контроль потужності освітлювального приладу та часу його роботи. Робота таких систем в основному зводиться до вмикання/вимкнення ВП за заданим режимом і часто не забезпечує необхідний рівень освітленості з урахуванням природного освітлення. Крім цього автоматичні СУО складно адаптувати до змін у конструкціях ВП та введення в експлуатацію нових освітлювальних систем. При цьому вартість таких систем досить висока. У зв'язку з цим автоматичні СУО знайшли широке практичне застосування у системах зовнішнього освітлення (магістралі, вуличне освітлення), освітлення виробничих приміщень (побутові приміщення, цехи) та житлово-комунальному секторі (освітлення під'їздів, ліфтів, коридорів).

До систем освітлення громадських та житлових будівель висуваються вимоги залежно від призначення. Приміщення мають великий розкид рівня освітленості, що нормується, залежно від виконуваних у них функцій. Додатково системи освітлення повинні враховувати споживчі та економічні вимоги (колірне середовище, наявність людей у приміщенні, керування режимами освітлення тощо). Вирішення описаних вимог можливе за впровадження автоматизованих СУО.

Автоматизовані СУО надають значні можливості економії електроенергії у громадських та житлових будинках за рахунок реалізації типових функцій [92].

Підтримка необхідного рівня освітленості у приміщенні. Реалізується за допомогою фотоелемента (датчика освітленості), встановленого всередині приміщенні та контролює рівень освітленості, створюваний ОП відповідно до нормованого значення. Впровадження цієї функції дозволяє економити електроенергію за рахунок регулювання потужності ВП та усунення "надлишок освітленості".

Облік природного освітлення приміщення. Економія електроенергії досягається за рахунок зменшення потужності ВП внаслідок підтримки необхідного рівня освітленості з урахуванням природного рівня освітлення.

Датчик освітленості відстежує сумарну освітленість. Використання цієї функції має найбільший показник енергоефективності та становить від 20 до 40%.

Облік періоду доби та циклів робочий день-вихідний. Впровадження алгоритму відключення ГП у приміщенні у певний час (обідні перерви, кінець робочого дня), а також не робочі дні дозволяє додатково економити електроенергію. Реалізується шляхом запровадження у СУО таймера реального часу.

Облік наявності у приміщенні людей. Використання датчика присутності (руху) в СУО можна відключати/вмикати ВП залежно від наявності у приміщенні людей. При впровадженні цієї функції необхідно враховувати призначення приміщення. Може робити неприємні відчуття для людини і в деяких випадках вплинути на роботу самого ВП. Економія електроенергії може становити до 30 % [93].

Дистанційне керування освітлювальними приладами. Функція не відноситься до класу автоматизованих, але часто впроваджується в СУО завдяки простоті реалізації та можливості керування ВП.

Перелічені функції автоматизованих СУО базуються на самодіагностиці устрою освітлення в реальному часі з використанням різних видів датчиків (освітленість, час, рух). Керування такою системою в класичному випадку здійснюється за рахунок контролера, який підтримує потрібні режими роботи світлодіодів.

Автоматизовані системи в даний час використовуються в системах освітлення в основному в автономному режимі без участі людини, а лише під контролем спеціалізованих програм з виведенням інформації щодо аварійних ситуацій. Згодом алгоритми роботи автоматизованих систем удосконалюються і до теперішнього часу використовуються інтелектуальні системи, що контролюють не тільки потужність та час ВП, а також температуру ВП, рівень освітленості з урахуванням природного світла.

Розглянемо сучасні автоматизовані системи керування світлодіодним освітленням. Прикладом може бути комбінована система керування офісним освітленням [94] реалізована в ліцеї м. Санкт-Петербурга, що була створена разом із компанією Simple House. Основне завдання було демонстрація можливостей системи керування освітлювальної світлодіодної системи на вирішення завдання зниження енергоспоживання на 75%. Це стало можливим за рахунок двох

факторів. Перше, використання світлодіодів, що знизило енергоспоживання на 35%. Другий – запропонована система керування. Основною особливістю цієї системою є компараторний принцип, тобто. облік природного рівня освітлення через віконні отвори та порівняння його з необхідним рівнем освітлення у приміщенні. При цьому здійснює вироблення сигналу керуючого на освітлювальний прилад для підтримки заданого рівня освітлення. Апаратно дана система була заснована на використанні промислового щита керування ЗАТ, що серійно випускається. «Світланаоптоелектроніка» (Росія). Найбільшу ефективність дана система показує при вимірі помісяцям, тому що при цьому враховується і денний світло та час вихідних днів, коли освітлення не вмикається. Водночас у даному проекті питання, пов'язані з тривалістю роботи системи освітлення та деградації світлодіодів з часом за рахунок температурних змін не описані. Тому можна дійти невтішного висновку, що дослідження з оптимізації роботи як системи освітлення, і системи керування у разі було проведено.

1.2 Висновки до розділу

Проведений аналіз сучасного стану функціонування та розвитку світлодіодних освітлювальних приладів та автоматизованих систем освітлення було виявлено низку напрямків досліджень, які дозволяють підвищити енергоефективність та надійність світлодіодного освітлення. На основі вищезазначених фактів було сформульовано мету та завдання. В цілому літературний огляд показав, що необхідно проводити дослідження з питання теплових режимів потужних білих світлодіодів, а також щодо організації системи керування світлодіодним освітленням з елементами автоматизації.

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Комп'ютерне моделювання конструктивних параметрів світлодіодної матриці з метою підвищення тепловіддачі

Основним елементом напівпровідникового освітлювального приладу є світлодіод. На сьогоднішній день конфігурації конструктивних виконань світлодіодів великої потужності досить різноманітні.

Виробники вдосконалюють технології виготовлення світловипромінюючих кристалів, конструкції та матеріали тепловідвідних основ для досягнення максимальної світлової ефективності та зниження теплового опору.

У ході дослідження та огляду наукових статей, публікацій та технічної документації провідних світових виробників світлодіодної продукції виявлено основні напрямки у розвиток світлодіодів високої потужності, а також рішення, пов'язані з проблемою відведення тепла від кристала світлодіодів підвищеної потужності.

Для порівняльного аналізу ефективності конструктивних та технологічних особливостей потужних світлодіодів провідних світових виробників було проведено моделювання з використанням програмного продукту «ANSYS 14.5». У системі тривимірного проектування

«Autodesk Inventor Professional 2013» були спроектовані стандартні моделі корпусів поверхневого монтажу типорозміру 5×5 мм, у кожному з яких застосований один із способів покращення відведення тепла.

Спроектовані такі світлодіодні матриці: стандартної конструкції, з суцільною металевою підкладкою, з металізованими стовпчиками в підкладці, виконання кристалів за технологією flip-chip на металізованій керамічній підкладці; з трьома кристалами загальною сумарною потужністю та об'ємом рівним попереднім матрицям; матриця з додатковою підкладкою (рис. 2.1).

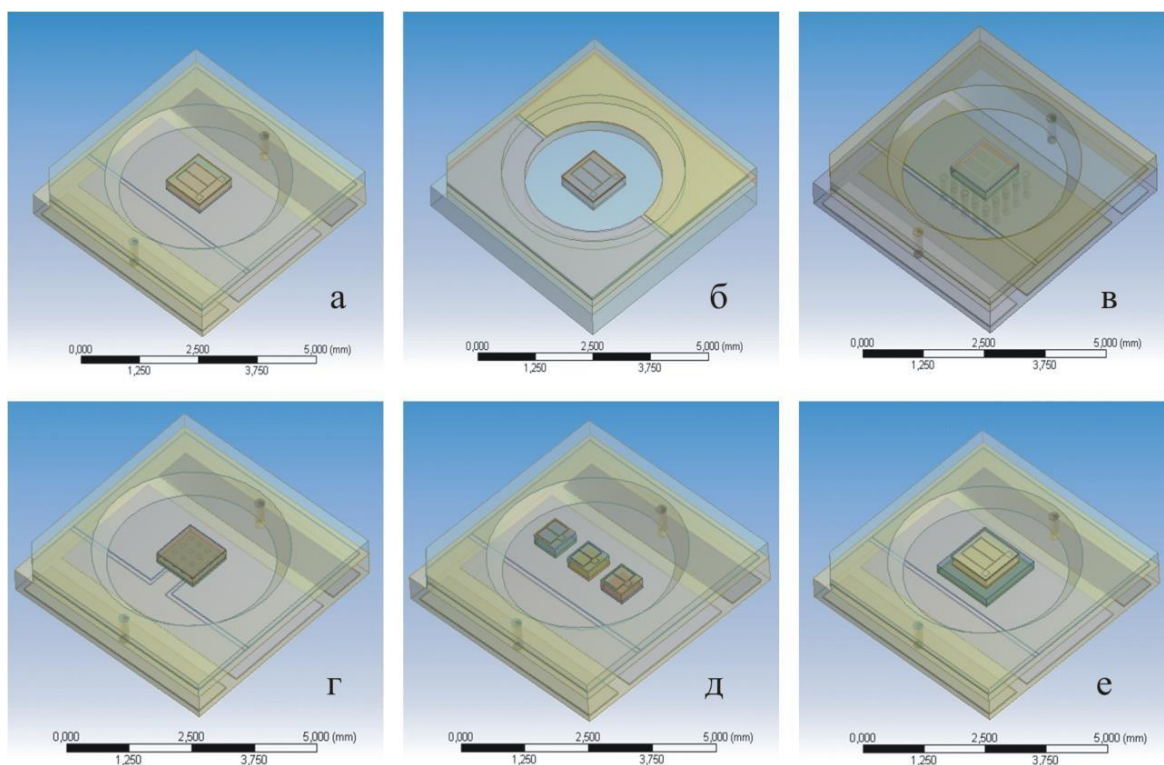


Рисунок 2.1 – Тривимірні моделі корпусів поверхневого монтажу:

а – стандартна конструкція світлодіода; б - суцільна металева підкладка; в – «металізовані стовпчики» у підкладці; г – кристал «flip-chip» на металізованій керамічній підкладці; д – три кристали з такою ж загальною сумарною потужністю та обсягом; е – кристал із установкою на додаткову підкладку

Матеріали елементів світлодіодів, використовувані під час моделювання, та його теплопровідність представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Матеріали елементів світлодіоду

Елемент	Матеріал,	Теплопровідність Вт/(м·К)
Кристал	Au	318
	AuSn	220
	n - шар	140
	p-шар	140
	Si	150

Клей для монтажу кристала	діелектричний	7
	електропровідний	15
Підкладка під кристал	Si	150
	SiC	360
Підкладка кераміка ал	гумооксидна (Al ₂ O ₃)	24
	керамікаалюмонітридна (AlN)	180
	мідь (Cu)	401
	CVD - алмаз	1800
	металізовані «стовпчики»	300
Металізація паста	на основі срібла	300

Аналіз проводиться методом кінцевих обсягів. Для точності моделювання вибрано найменший крок сітки дискретизації. Кожен елемент конструкції поділяється на 392 частини. (Рис 2.2а). Як температура навколишнього середовища, була прийнята верхня межа цивільного діапазону температур +75°C і додана до нижньої частини основи світлодіода (рис 2.2б).

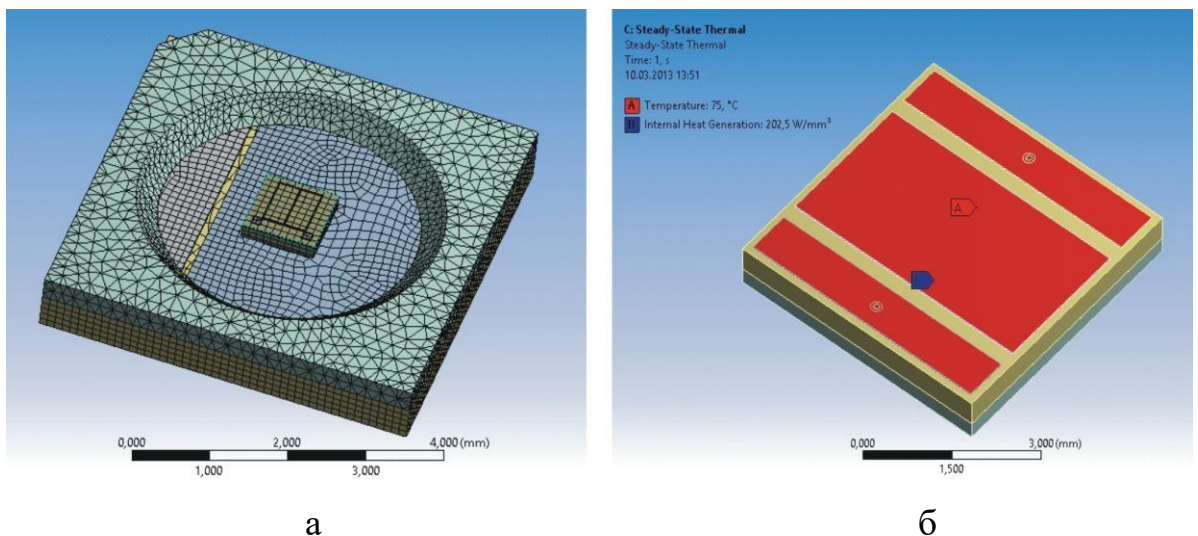


Рисунок 2.2 – Граничні умови: а – сітка дискретизації; б – сфера температури навколишнього середовища

Розрахунки проводилися у стаціонарному режимі. У середньому ККД досліджуваних світлодіодів вибиралося в межах 30%, у моделюванні прийняли, що 70 % потужності світлодіода перетворюється на тепло. Кожному елементу визначається коефіцієнт теплового випромінювання, який дорівнює відношенню потужності теплового випромінювання до обсягу випромінюючого елемента (рис. 2.3).

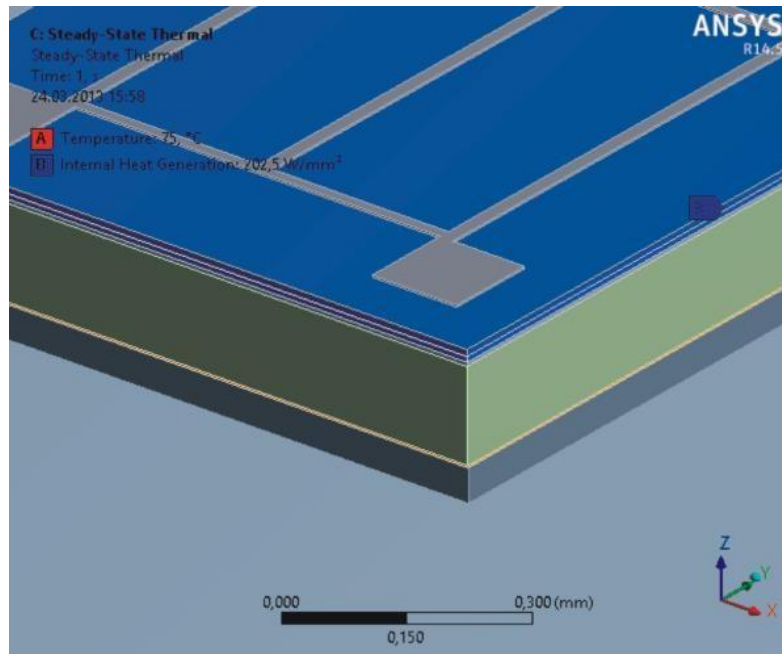


Рисунок 2.3 – Модель кристала

Незважаючи на трудомісткість такого моделювання, його результати можна буде використовувати надалі для теплових розрахунків будь-яких світлотехнічних систем, в яких використовується аналогічна технологія монтажу світлодіодів, матеріали та геометрія радіатора.

В результаті моделювання отримано значення теплових опорів підкладок корпусів світлодіодних матриць із застосуванням різних матеріалів та технологій (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 - Тепловий опір підкладок

Матеріал підкладки	Тепловий опір, %	Зниження теплового опору, %
Кераміка алюмооксидна	100	-
Кераміка алюмонітридна	59	41
Металева підкладка (Cu)	36	54
CVD - алмаз	16	74
Металізовані стовпчики (Ag)	56	44

Для порівняння за основу (еталонну модель) було прийнято спроектовану стандартну конструкцію світлодіодної матриці з підкладкою із алюмооксидної кераміки. Порівняно з алюмооксидною, алюмонітридна кераміка має значно більш високу теплопровідність, але є більш дорогою.

На сьогоднішній день стає все більш поширеним застосування суцільної металевої основи, метали мають дуже високі показники теплопровідності. Тим не менш, основна складність даної технології полягає у способі кріплення кристала до підкладки. Варто відзначити, що температурні коефіцієнти металів дуже відрізняються від матеріалів, що використовуються в кристалі. Тому доводиться використовувати товсті шари спеціального матеріалу, що клеїть, які повинні компенсувати різницю температурних коефіцієнтів розширення. У той же час, не варто забувати, матеріал, що клеїть, повинен бути діелектричним, щоб виключити можливість контакту кристала з підкладкою. Все це негативно впливає на показник теплопровідності клею.

Діелектричний клей мінімум вдвічі нижчий за теплопровідністю, ніж струмопровідний. Незважаючи на все це, цей спосіб досить ефективний і простий.

Використання «металізованих стовпчиків» є дуже ефективним при використанні підкладок з полімерних матеріалів, а також на друкованих платах. Дані матеріали дозволяють, порівняно з керамікою, забезпечити високу щільність отворів і не обмежені по діаметру. Цей метод дозволяє значно підвищити

теплопровідність усієї підкладки загалом. Дуже ефективною альтернативою цього методу є використання великого металізованого отвору під кристалом, порівнянного з площею. Даний конструктивний варіант формує суцільний металевий тепловідвід під кристалом і ефективно наближається до варіанту з суцільною металевою підкладкою, але технологічна реалізація вимагає дуже тонкого налаштування і вузького технологічного вікна процесу його виготовлення.

Підкладки на основі CVD-алмазу вже застосовують у деяких пристроях великої потужності і не тільки як тепловідведення, але і спільно, як і напівпровідниковий матеріал. Багато дослідників називають цей матеріал як «ідеальною діелектричною підкладкою». Сьогодні його теплопровідність перевищує 2300 Вт/(м·К). Існує ряд технологій вирощування CVD-алмазу та з кожним роком вони удосконалюються. Тим не менш, для його масового впровадження в електроніку ще належить вирішити ряд технологічних труднощів, але вже зараз фахівці прогнозують даному матеріалу велике майбутнє і одне з перших його застосувань буде спрямоване на створення потужних світлодіодних пристроїв.

Порівняльний аналіз отриманих у результаті моделювання теплових опорів потужних світлодіодів різних конструкцій та технологій виконання представлений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Тепловий опір кристалів та підкладок

Конструкція кристалів	Тепловий опір, %	Зниження теплового опору, %
Стандартна	100	-
Flip-Chip	73	27
Тонкий	80	20
Три кристали	63	37
Підкладка Si	67	33
Підкладка SiC	62	38

Як стандартний кристал, тут мається на увазі планарний кристал, висотою близько 170 мкм (рисунок 3.1а). Дані кристали найпоширеніші та порівняно дешеві.

Компанія Philips перша стала застосовувати технологію виконання кристала методом "flip-chip" (перевернутий кристал). Вона дозволяє підвищити світловий потік і в той же час дуже значно знизити тепловий опір за рахунок нижчого розташування напівпровідникових шарів від тепловідведення.

Не менш ефективним є використання тонких кристалів. Компанія Cree має дуже високі технологічні досягнення у виробництві кристалів і вже в промислових масштабах виробляє кристали заввишки. 100 мкм. Використання високотеплопровідних матеріалів, зокрема карбіду кремнію, дозволяє додатково знизити тепловий опір конструкції.

Компанія Sharp розробляє багатокристалічні структури та заснована на виробництві світлодіодних матриць високої потужності. Застосування декількох кристалів меншого об'єму замість одного потужного, дозволяє виграти не тільки у світловому потоці, потужності, але й тепловому опорі. Зі збільшенням кількості кристалів тепловий потік найбільш ефективно і рівномірно розподіляється по всій площі підкладки, що дозволяє значно знизити тепловий опір. Але варто зазначити, що цей метод потребує збільшення площі підкладки. В результаті можна виділити такі найбільш перспективні та ефективні напрямки:

- виробництво багатокристалічних структур;
- використання у конструкціях цільні металеві підкладки;
- застосування «металізованих стовпчиків».

Проведені дослідження моделей світлодіодних матриць дали змогу спроектувати власну модель світлодіодної матриці з урахуванням оптимізації її температурних режимів.

Були отримані такі параметри світлодіодної матриці підвищеної потужності:

- потужність: 75Вт;

- світловий потік: 7000 лм;
- тепловий опір 0,7С/Вт;
- габаритні розміри: дина – 25мм, ширина 20 мм, висота 4 мм.

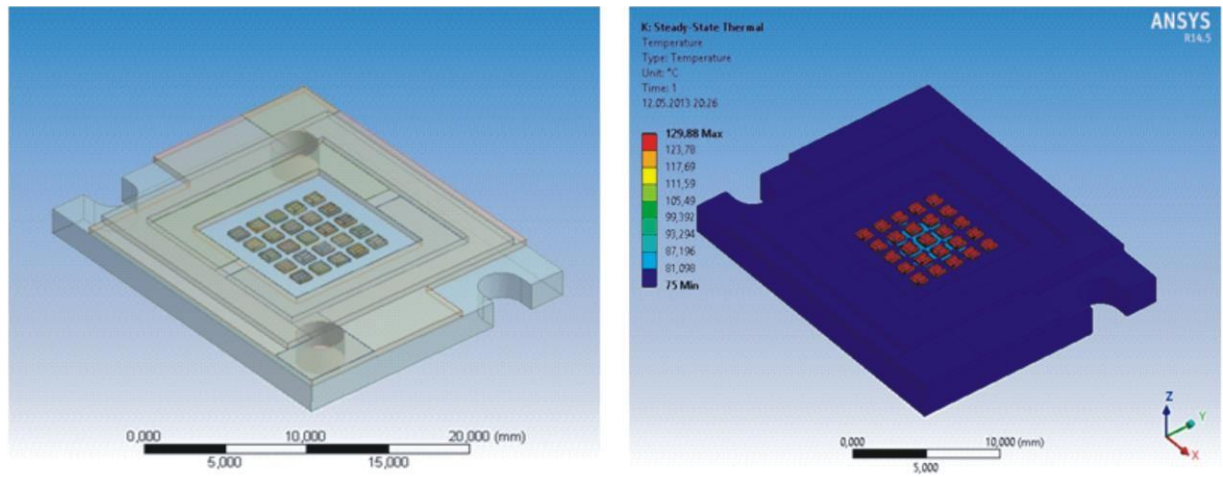


Рисунок 2.5 – Модель світлодіодної матриці на суцільній мідній підкладці

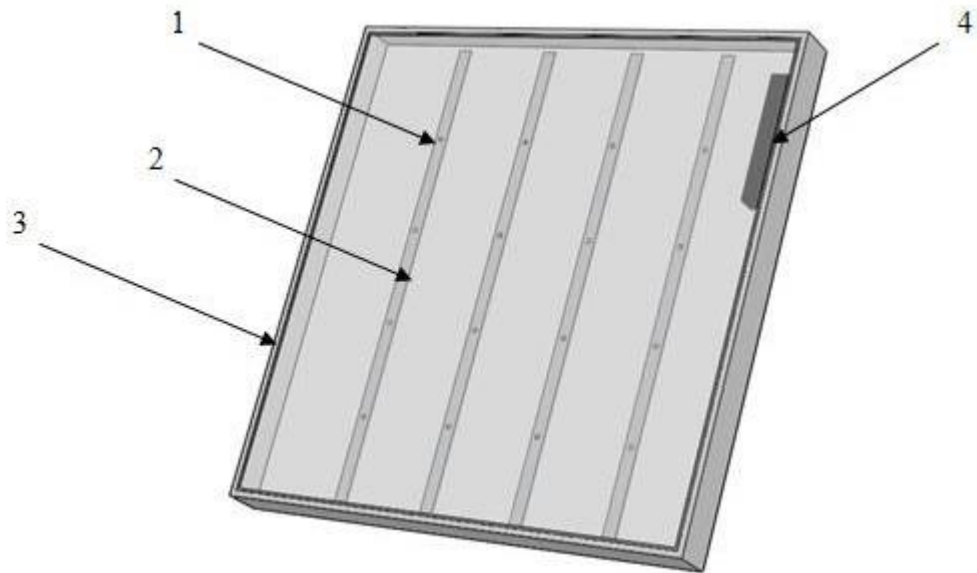
Матриця розташована на металевій підкладці, має просту прямокутну форму з можливістю кріплення на болтах (рис. 2.5). Є два полімерні діелектричні шари, на першому з яких закріплені металеві контакти з виходами по краях. Верхній шар є «граничною рамкою» для заливання смолою епоксидної.

2.2 Розробка конструкції світлодіодного освітлювального приладу

Організація ефективного тепловідведення є основною проблемою при проектуванні потужного світлодіодного світильника. При розробці такого типу освітлювального приладу необхідно мінімізувати густину розподілу тепла від масиву світлодіодів, а також тепловий опір між корпусом радіатора і тепловідвідною основою світлодіода. Дуже важливо, щоб розрахунки під час проектування світлотехнічного пристрою забезпечували належний рівень

охолодження потужного світлодіода. Відведення тепла досягається шляхом вибору оптимальних конструктивних рішень освітлювального приладу.

На рис 2.6 представлена найпоширеніша конструкція теплообмінника для внутрішнього висвітлення приміщення. Конструкція є корпусом світильника типу «Armstrong» стандартних пропорцій.



1 - світлодіод, 2 - друкована плата, 3 - корпус (радіатор), 4 – джерело живлення

Рисунок 2.6 – Конструкція світильника типу «Armstrong»

Для розрахунку температурних полів спроектованої комп'ютерної моделі було використано CAD систему Solid Works Flow Simulation, яка дозволяє розраховувати тепломасообмін конструкції [150]. Результатами розрахунків є: розподіл температури в будь-якому перерізі конструкції та середовища, швидкості та форми потоків середовища (повітря), коефіцієнт теплопередачі від будь-якої поверхні конструкції у середу. Можливості Flow Simulation дозволяють за кілька ітерацій оптимізувати теплову конструкцію освітлювального приладу. Змінюючи форму поверхонь, зазори та товщини можна досягти компромісного

рішення між масо-габаритними вимогами та тепловими, при цьому не забуваючи про реальність конструкції.

На етапі проектування світлодіодних освітлювальних приладів та розрахунків теплового режиму їх роботи необхідно визначати зовнішні умови експлуатації. З метою позначення теплового режиму визначаються основні параметри. Для розрахунків було обрано такі дані:

- середа - повітря при тиску 101,3 кПа,
- температура довкілля 25 °С;
- матеріал конструкції – алюміній (200 Вт/м*К);
- плафон - полікарбонат (1,3 Вт/м*К),
- вага розрахованої конструкції трохи більше 3 кг.

Використовувалися світлодіоди фірм Nichia та LG з основними світлотехнічними характеристиками, поданими у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Характеристики світлодіодів

Характеристика	NVSL219B NC	SL219B	LG 3030N
Потужність світлодіода, Вт	2,16	1,05	0,609
Сила струму, мА	700	350	100
Світловий потік, лм	278	147	78
Світлова віддача, лм/Вт	128	140	128
Розміри, мм	3.5x3.5x2.0	6.5x5.0x1.35	3.0x3.0x2.0

1 розрахунок. Для першого розрахунку використовувалися світлодіоди Nichia NVSL219B. На рис 2.7 показано температурне поле моделі світлодіодного світильника, що працює при струмі $I = 0,7$ А. Максимальна температура на корпусі світлодіодних матриць становить 35,2°С.

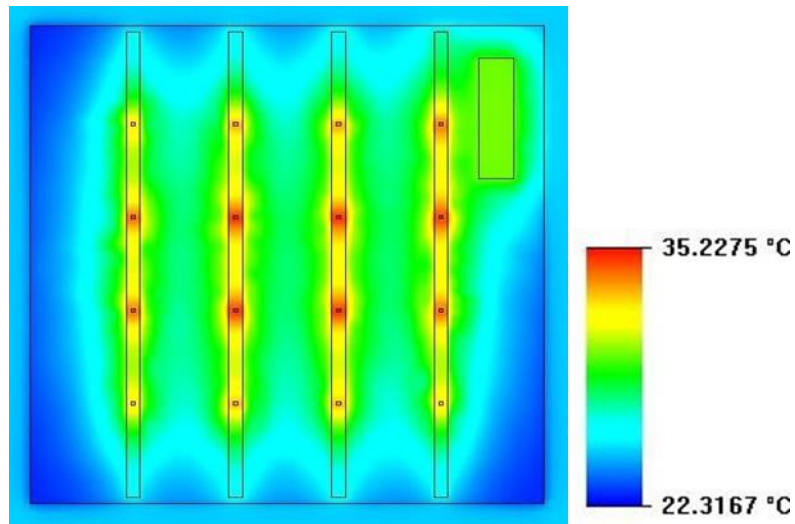


Рисунок 2.7 – Температурне поле світильника зі світлодіодами Nichia NVSL219B

2 розрахунок. У другому випадку використовувалися світлодіоди Nichia.NCSL219B. На рис 2.8 показано температурне поле моделі світлодіодного світильника, що працює при струмі. $I = 0,35 \text{ A}$. Максимальна температура на корпусі світлодіодних матриць становить $32,6^\circ\text{C}$.

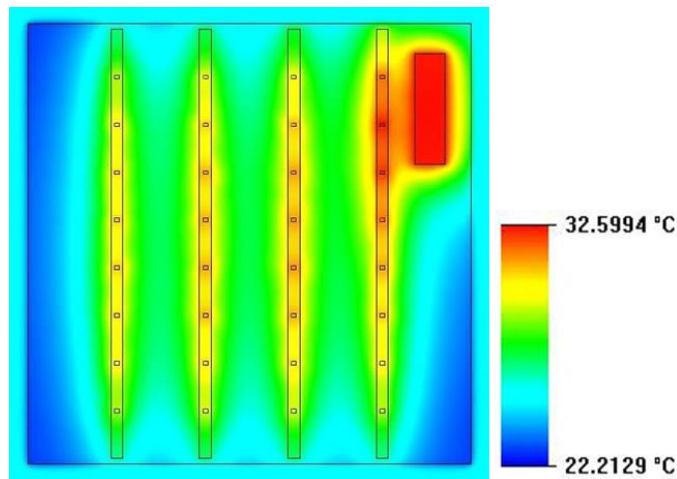


Рисунок 2.8 – Температурне поле світильника зі світлодіодами Nichia NCSL219B

3 розрахунок. В даному розрахунку використовувалися світлодіоди. LG 3030N працюють на малому струмі. На рис 2.9 показано розподіл температурного поля моделі світлодіодного світильника, що працює при струмі $I=0,1\text{A}$.

Максимальна температура на корпусі світлодіодних матриць становить 38°C.

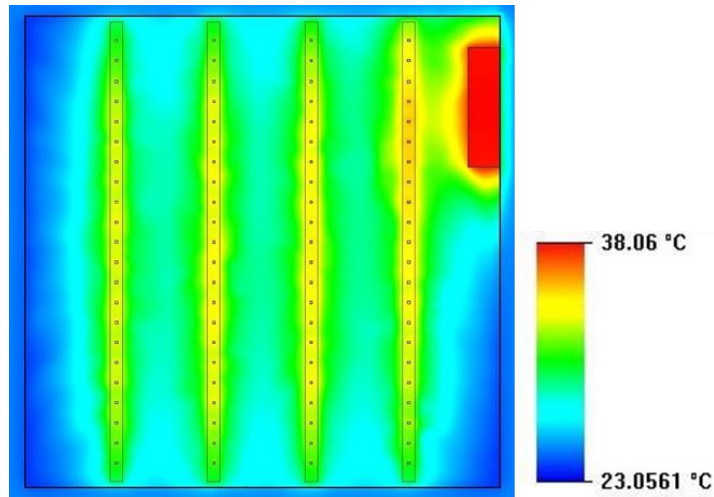


Рисунок 2.9 – Температурне поле світильника зі світлодіодами LG3030N

Результати проведеного моделювання при проектуванні світильника для внутрішнього освітлення наочно демонструють відмінність від вибору певного типу світлодіодів, режимів їх роботи, а також конструктивних рішень освітлювального приладу (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 - Характеристики освітлювальних приладів

Характеристика освітлювального приладу	1 розрахунок	2 розрахунок	3 розрахунок
Світлодіоди	NVSL219B N	CSL219B	LG 3030N
Потужність світильника, Вт	34	32	52
Світловий потік світлодіодів, Лм	4448	4704	6864
Кількість світлодіодів, шт.	16	32	88

Для підтвердження проведених модельних розрахунків було проведено натурний експериментальний розгляд теплових потоків у системі

«світлодіоди – корпус світильника – навколишнє середовище». Для цього було виготовлено макет світильника з оптимальними технічними характеристиками на підставі проведеного дослідження відповідне моделі освітлювального приладу з другого розрахунку (світлодіоди Nichia NCSL219B із споживаною потужністю 32 Вт при струмі $I=0,35\text{A}$). На рис 2.10 наведено фотографію виготовленого світлодіодного світильника.



Рис 2.10 – Фотографія макета світильника

Максимальна температура світильника була виміряна термопарою і склала $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($32,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ отримана при моделюванні). На підставі цього можна зробити висновок, що розроблена модель світильника є достовірною, що дозволяє вважати результати комп'ютерного моделювання вірними.

2.3 Забезпечення рівномірності освітлення робочих приміщень методом статистичного моделювання конструктивних рішень

Основна вимога до системи освітлення, це забезпечити нормований рівень освітленості у всіх точках робочої поверхні.

Важливим є дотримання санітарних вимог (спектральний склад світла, частота мерехтіння, рівномірність висвітлення) та енергоефективність системи.

Комплекс цих вимог вирішується при проектуванні та монтажі освітлювальних приладів за рахунок вибору певного типу світильників та оптимального їх розміщення.

Вирішення завдання вибору освітлювальних приладів та оптимізація їх розміщення для рівномірного освітлення приміщення при виконанні необхідного рівня освітленості робочої поверхні конкретного приміщення було доповідано на міжнародній конференції та опубліковано у науковому журналі.

При проектуванні світлодіодної системи освітлення необхідно враховувати особливості технічних характеристик світлотехнічних виробів. Проводилися дослідження освітлення офісного приміщення з використанням світлодіодних світильників (СДС) та люмінесцентних ламп (ЛЛ) різної потужності від російських виробників. Основні розрахунки виконувались у програмах DIALux і STATISTICA, моделювання розподілу освітленості здійснювалося у програмі MATLAB. Можливості програми DIALux дозволяють проводити світлотехнічні розрахунки методом коефіцієнта використання світлового потоку та точковим методом; визначити оптимальне розташування світильників, що оцінюється за стандартним коефіцієнтом рівномірності розподілу освітленості з дотриманням обмеження у вигляді мінімальної нормативної освітленості.

Знаходження оптимального розташування здійснюється пошуковим безградієнтним методом вирішення оптимізаційних завдань – методом сканування області зміни незалежних змінних з обмеженнями як нерівностей. Метод сканування полягає в послідовному перегляді значень цільової функції (в даному випадку - значення коефіцієнта рівномірності розподілу освітленості) у ряді точок, що належать області зміни незалежних змінних (значення освітленості в контрольних точках) та знаходженні серед них точок з мінімальним значенням цільової функції.

Ідентифікація закону розподілу освітленості від освітлювальних приладів проводиться за допомогою пакету STATISTICA. Будується гістограма інтервального розподілу освітленості для всього приміщення та проводиться

перевірка у пакеті Industrial Statistics, підпрограмі Process analysis. За допомогою пакету програм Statistica визначаються основні статистичні характеристики.

У дослідженні розглядається офісне приміщення довжиною 9 м, шириною 4 м та висотою 2,8 м. Значення освітленості визначені на робочій площині – 0,8 м від рівня підлоги. Нормативна освітленість приміщення приймається 300лк, що відповідає Б1 розряду зорової роботи з характеристикою зорової роботи високої точності.

Дослідження проводили для двох варіантів освітлення офісного приміщення. Слід зазначити, що у перших чотирьох варіантах розглянуті попарно варіанти висвітлення з допомогою СДС і ЛЛ з однаковим значенням світлового потоку кожної порівнюваної пари. Це робиться щодо коректного порівняльного аналізу кількісних і якісних показників системи висвітлення. У п'ятому варіанті розглянуто освітлення приміщення з нестандартним розташуванням комбінації СДС.

1 розрахунок. У першому варіанті освітлення обрано СДС PLANT 02-25-3000-31 (120), виробництва ТОВ «АтомСвіт».

На першому етапі розрахунку визначається необхідна кількість світильників. В результаті розрахунку в програмі DIALux отримано, що при вибраному СДС зі світловим потоком 3120 лм оптимальне розташування світильників (позиції 1-6) має такий вигляд (рисунок 2.11).

Коефіцієнт рівномірності розподілу освітленості на робочій площині дорівнює 0,519, що відповідає мінімальному пороговому значенню 0,300.

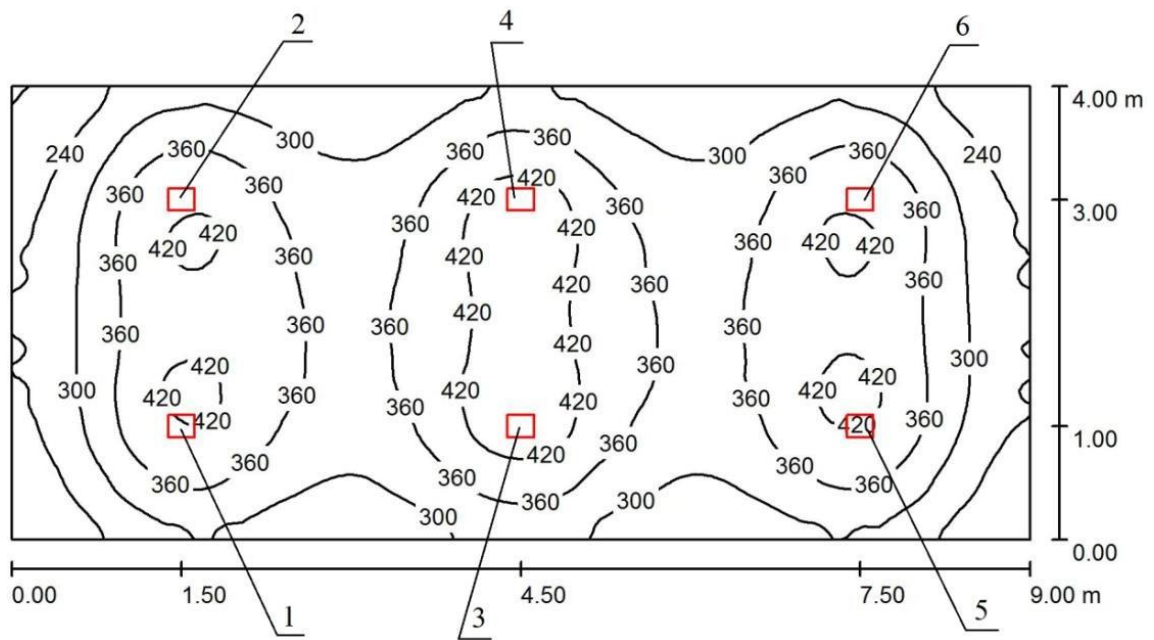


Рисунок 2.11 – Оптимальне розташування світлодіодних світильників PLANT 02-25-3000-31 (120)

Карта освітленості приміщення дозволяє візуалізації розподілу освітлення на робочій площині в приміщенні, яка дозволяє показати характер картини освітленості. За картою освітленості у програмі MATLAB побудовано 3D-модель розподілу освітленості у просторі приміщення на робочій площині (рисунок 2.12).

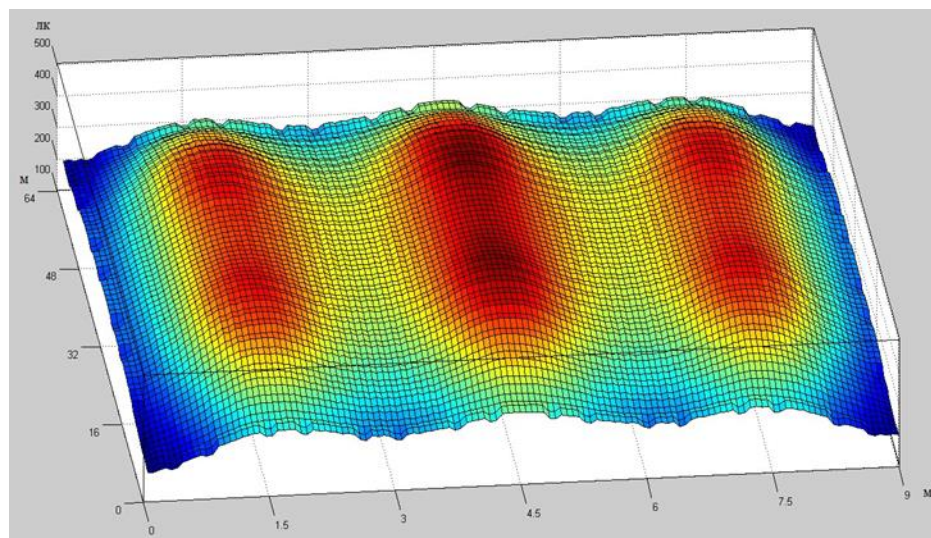


Рисунок 2.12 – 3D-модель розподілу освітленості у просторі приміщення на рівні робочої площини

Отримано хвилеподібну картину освітлення в приміщенні. В даному випадку основне центральне поле приміщення досить освітлене, проте з наявністю ділянок підвищеної освітленості. По краях є темні плями. Загальна картина освітлення допустима, але не дуже сприятлива умов комфортної роботи.

Другим етапом є ідентифікація закону розподілу освітлення від вибраних світильників. Знання закону розподілу дозволяє показати характер розподілу освітленості у просторі приміщення. Також у ході проведення статистичного аналізу з'являється можливість визначити середньоквадратичне відхилення, яку можна використовувати як показник рівномірності висвітлення робочої площині, тобто. як якісну характеристику висвітлення.

Необхідність використання цього показника обумовлена тим, що загальноприйнятий коефіцієнт рівномірності розподілу освітленості (визначається як відношення мінімального значення освітленості до середнього) менш інформативним, тобто. за його значенням можна судити лише у тому, наскільки буде «пікова» картина висвітлення. Так, у разі нерівномірної діаграми розподілу світла світильника виникають такі ситуації, коли при досить рівномірному освітленні приміщення з'являються деякі провали, і в цьому випадку значення коефіцієнта рівномірності розподілу освітленості не відобразить правдивої картини освітлення. У цих випадках найбільш прийнятно використовувати середньоквадратичне відхилення як показник рівномірності, так як воно дозволяє показати розкид значень освітленості щодо середньої величини,

Таким чином, після ідентифікації закону розподілу та проведення статистичного аналізу даних буде відома математична модель розподілу освітленості, виражена через функцію густини закону розподілу; з'явиться можливість оптимізувати розміщення світильників згідно з таким критерієм оптимальності, як середньоквадратичне відхилення з дотриманням такого обмеження, як мінімальне нормативне значення освітленості; буде отримана якісна оцінка освітлення. Перераховані можливості з використанням

автоматизованих систем керування дозволить забезпечити енергоефективне освітлення з необхідною якістю освітлення.

Закон Вейбулла є одним із найбільш застосовуваних на практиці законів розподілу. Функція щільності розподілу закону Вейбулла має такий вигляд :

$$f(S, \alpha, \beta, \gamma) = \frac{\beta}{\alpha} (S - \gamma)^{\beta-1} e^{-\frac{(S-\gamma)^\beta}{\alpha}}, S \geq \gamma, \quad (2.1)$$

де α – параметр масштабу; β – параметр форми; γ – параметр положення (зсуву).

Перевага закону Вейбулла полягає в тому, що він, на відміну від нормального закону, має аналітичну форму інтегрального закону розподілу, яка представлена наступною формулою:

$$F(S) = 1 - e^{-\frac{(S-\gamma)^\beta}{\alpha}}. \quad (2.2)$$

За значеннями карти освітленості складається вибірка освітленості і будується гістограма інтервального розподілу освітленості всього приміщення з допомогою пакета програми STATISTICA. Перевірка на відповідність розподілу освітленості розподілу Вейбулла здійснюється за критерієм відповідності аналітичної кривої ідеальної кривої Вейбулла. У результаті отримано, що розподіл освітленості є розподілом Вейбулла на 99,88 %. На рис 2.12 представлена функція щільності розподілу з певними параметрами форми, масштабу та положення. Функція щільності розподілу освітленості в приміщенні з обраними світильниками згідно з формулою (2.1) має наступний вигляд $f(S; 319,66; 5,66; 45,22) = 0,018(S-45,22)^{4,66} \cdot e^{-\frac{(S-45,22)^{5,66}}{319,66}}$, що є математичною моделлю розподілу освітленості на робочій площині для цього конкретного випадку.

За допомогою пакета програми STATISTICA визначаються основні статистичні характеристики. Середньоквадратичне відхилення у цьому розрахунку дорівнює 61,39.

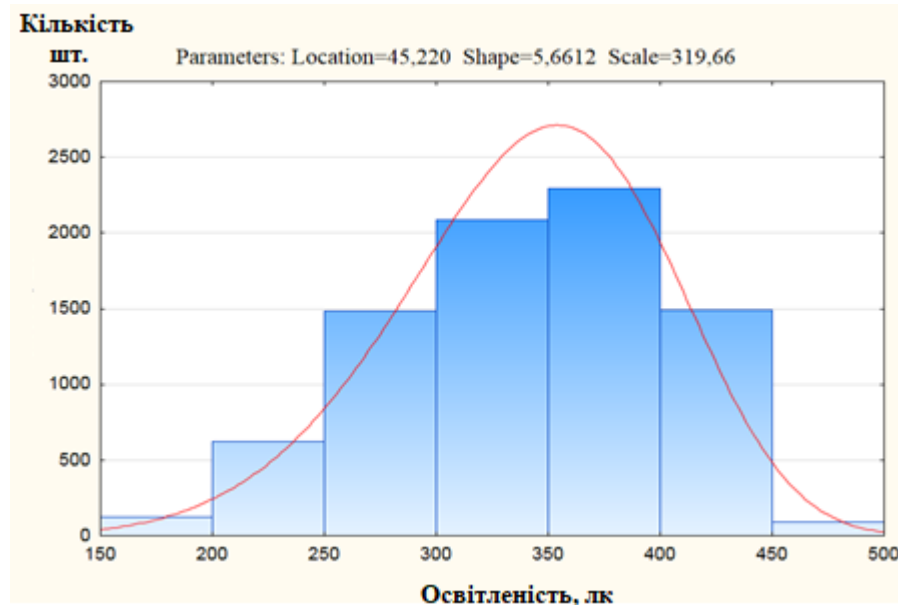


Рисунок 2.13 – Гістограма та функція щільності розподілу освітленості від світлодіодних світильників PLANT 02-25-3000-31 (120)

Для всіх наступних варіантів застосовувався описаний алгоритм розрахунку.

2 розрахунок. Як другий варіант розглянуто приклад освітлення приміщення за допомогою люмінесцентних світильників DIAL 23 TCW 596S-158 I-D2 NB з ртутними газорозрядними лампами низького тиску, виробництва ЗАТ

"Компанія Технолог". Основні технічні характеристики світильника та діаграма світлового розподілу наведено у додатку F.

Даний світильник був обраний з таким же світловим потоком, як і СДС з першого розрахунку для коректного порівняння одержуваної картини освітлення в приміщенні від СДС і ЛЛ, а також для подальшого аналізу якості освітлення та економічного аналізу ефективності використання певного типу світильника.

Оптимальне розташування світильників (позиції 1-6) при вибраному типі ЛЛ зі світловим потоком 3174 лм має вигляд, показаний на рис 2.14.

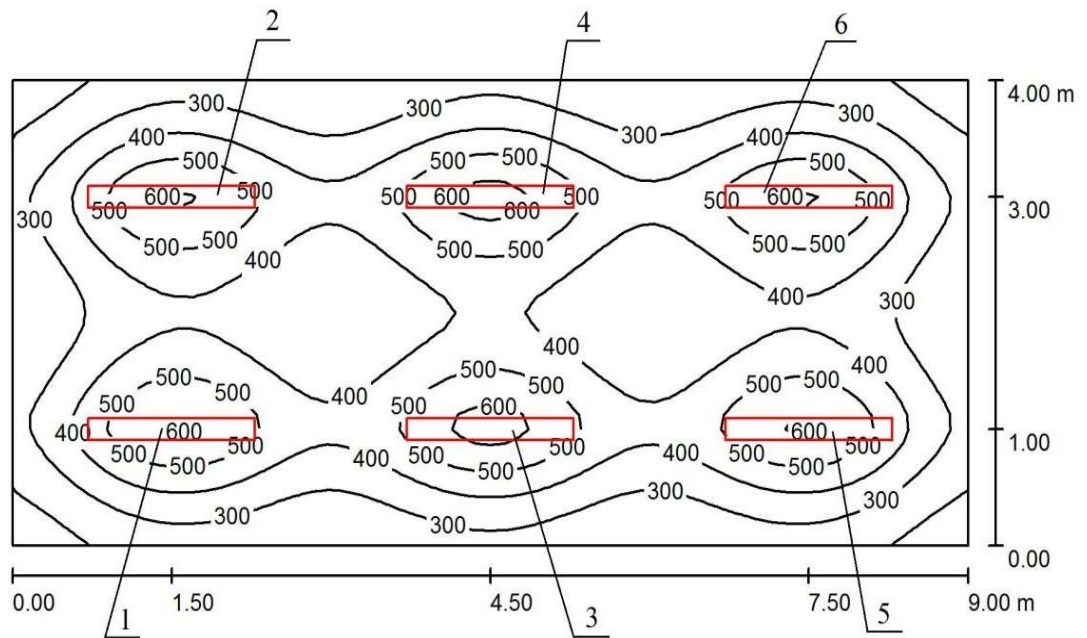


Рисунок 2.14 – Оптимальне розташування люмінесцентних ламп DIAL 23 TCW 596S-158 I-D2 NB

Координати розташування світильників у першому та другому варіантах однакові, це пояснюється практично однаковим значенням світлового потоку у обох моделях світильників, а також схожою діаграмою КСС.

Модель розподілу освітленості у просторі приміщення на робочій площині (рис 3.15) показує, що за вибраних ЛЛ спостерігається пікова картина освітленості, яка характеризується наявністю ділянок підвищеної освітленості під освітлювальними приладами та темних плям в інших місцях.

В результаті розрахунків отримано, що розподіл освітленості є розподілом Вейбулла на 92,35%.

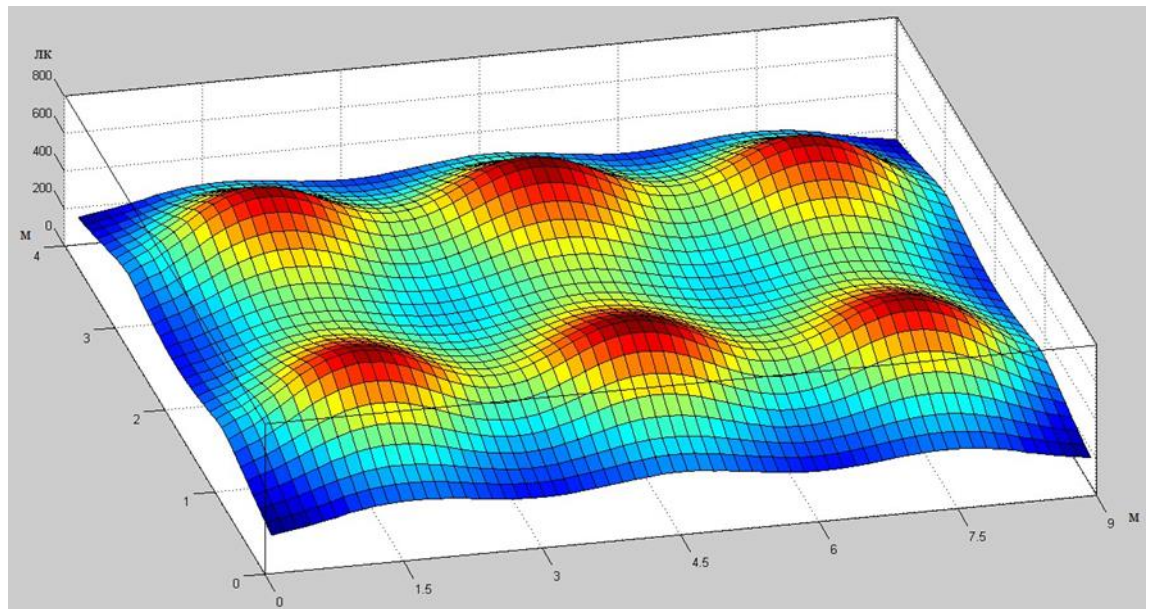


Рисунок 2.15 – 3D-модель розподілу освітленості у просторі приміщення на рівні робочої площини

На рис 2.16 представлено гістограму розподілу освітленості.

Функція щільності розподілу освітленості в приміщенні з обраними ЛЛ має

вигляд $f(S;292,69;2,61;126,84)=0,009(S-126,84)^{1,61} \cdot e^{-\frac{(S-126,84)^{2,61}}{292,69}}$ Середньоквадратичне відхилення дорівнює 107,72.

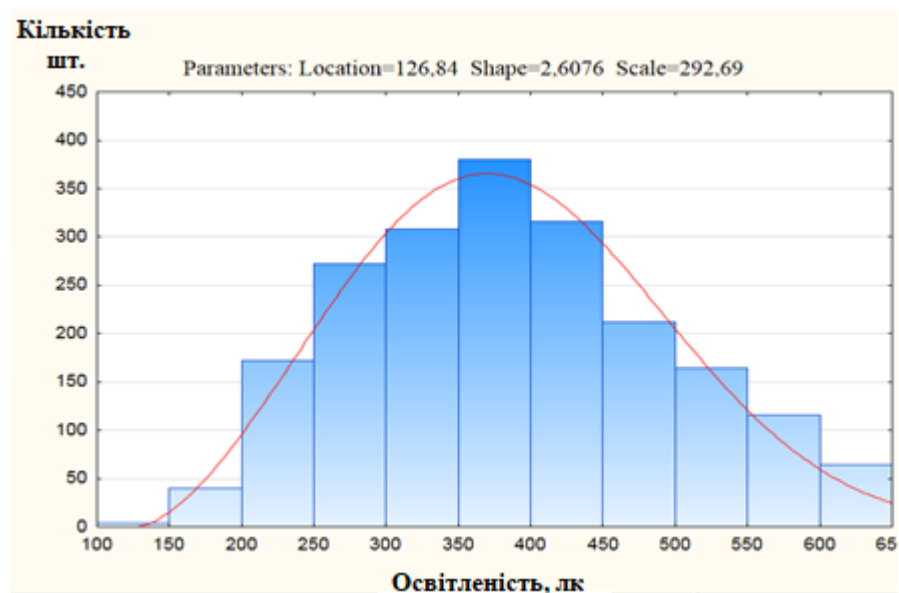


Рисунок 2.16 – Гістограма та функція щільності розподілу освітленості від люмінесцентних ламп DIAL 23 TCW 596S-158 I-D2 NB

Порівняльний аналіз отриманих даних показує, що за освітленні приміщення СДС середній рівень освітленості на робочій площині менший ніж при освітленні ЛЛ, однак при цьому показник рівномірності освітлення $E_{\min}/E_{\text{ср}}$ більший у першому випадку, що показує наявність більш рівномірної картини в першому варіанті освітлення. Також мінімальне і максимальне значення освітленості у разі ЛЛ мають менше і більше значення відповідно, тобто. спостерігається картина освітленості із великими перепадами. У першому варіанті зі СДС розкид значень освітленості щодо середньої величини менше, ніж у другому варіанті розрахунку з ЛЛ, що показує більш рівномірну картину освітлення приміщення. Усе це показує, що з освітленні СДС з першого варіанта спостерігається більш рівномірна зі згладженими піками картина освітлення.

Порівняльний аналіз розрахованих кількісних та якісних показників освітленості, створюваної освітлювальними установками з різними джерелами світла, наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Порівняльний аналіз параметрів варіантів освітлення

Характеристики світильникаСД	СДС	ЛЛ
	1 варіант	2 варіант
Найменування	PLANT 02-25-3000- 31 (120)	DIAL 23 TCW 596S- 158 I-D2 NB
Кількість, шт.	6	6
Світловий потік світильника лм	3120	3174
Загальний світловий потік, лм	18720	19044
Споживана потужність світильника, Вт	31	65

Продовження таблиці 2.6

Загальна потужність, Вт	186	390
Коефіцієнт рівномірності розподілу освітленості	0,519	0,378
Середньоквадратичне відхилення	61,39	107,72

2.4 Висновки у розділі

У розділі проведено моделювання конструкції світлодіодної матриці, що дозволяє здійснювати оптимізацію температурних режимів та використовувати такі конструкції у системах освітлення підвищеної надійності та довговічності.

Використовуючи запропоновану методику розрахунку тепломасоперенесення в системі «основа світлодіода – кристалик – лінза – навколишнє повітря» можна створювати конструкції нових світильників, які за аналізом розподілу температурних полів забезпечать довготривалу роботу освітлювальних приладів відповідно до заявленого часу роботи близько 50 тис. годин.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Експериментальні дослідження системи автоматизованого керування світлодіодним освітленням

Розробка схеми регулювання світлодіодним освітленням має різні типи невизначеностей, які можуть виникнути у фізичних системах. До внутрішніх факторів відносяться помилки пов'язані з роботою схеми, зміни параметрів компонентів схеми, помилки конструювання, помилки при прошивці схеми, збільшення внутрішнього шуму і т.д. Зовнішні фактори пов'язані з екологічними впливами та людськими помилками, пов'язаними з неправильною експлуатацією електронної системи, високою температурою навколишнього середовища та впливом різних радіохвиль та інших видів електромагнітних випромінювань. Загальна схема електронної системи керування з невизначеностями пов'язаними з внутрішніми та зовнішніми факторами можна представити загальною схемою опису автоматизованих систем керування (рисунок 3.1),

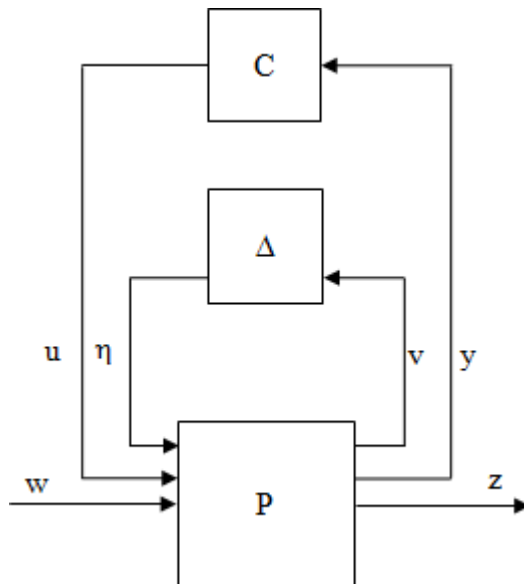


Рисунок 3.1 – Загальна схема автоматизованої системи керування

Де P - номінальна система керування; C- синтезований регулятор; Δ - множина всіх можливих невизначеностей в описі системи; w – вектор сигналу, що включає шуми, перешкоди та опорні сигнали (зовнішній вхід системи); z – являє

собою вектор сигналу, що включає контрольовані сигнали та помилки стеження (вихід системи); u - Керуючий сигнал, y - Контрольний сигнал; сигнали η та v - вхід та вихід невизначеності відповідно.

У реальних умовах освітлення приміщення є додаткове засвічення, пов'язане з природнім світлом. При цьому дане засвічення може змінюватися з часом у значному діапазоні, а також мати непрогнозовані, що швидко протікають зміни освітленості. Облік зовнішнього природного світла дозволяє підвищити стійкість автоматизованої системи та забезпечити необхідний рівень освітленості.

Для реалізації системи автоматизації, що враховує невизначеності, нами було розроблено схему (рисунок 3.2). Ця схема за рахунок першого контуру регулювання підтримує потрібну температуру кристала світлодіода. Другий контур регулювання забезпечує необхідне освітлення за рахунок зміни режимів роботи драйвера.

Розглянемо роботу цієї схеми. Перший контур регулювання підтримує необхідний температурний режим в діапазоні, що забезпечує стійку роботу світлодіода 4, при якому протягом заявленого фірмою виробником часу роботи світлодіод не деградує. Регулювання здійснюється автоматично, змінюючи робочу напругу елемента Пельтьє 3 за допомогою розробленого джерела живлення 2. Як датчик температури служить терморезистор 5.

Другий контур регулювання забезпечує постійний рівень освітленості за рахунок керування потужністю світлодіода 4 за допомогою ШИМ (широтно-імпульсна модуляція) регулювання драйвера 1. Керує роботою драйвера мікроконтролер STM32. Контрольний сигнал для керування надходить з фотоопору 6 на контролер 7, виконує програму з необхідним сценарієм роботи світлодіода. Контроль сонячного світла здійснюється за допомогою фотоопору 10 сигнал, з якого надходить на аналоговий вхід мікроконтролера і дозволяє підтримувати загальну освітленість приміщення постійною за рахунок драйвера світлодіода 1. Цей контур дозволяє забезпечити компенсацію природного світла, а також враховувати комбіноване освітлення робочого приміщення.

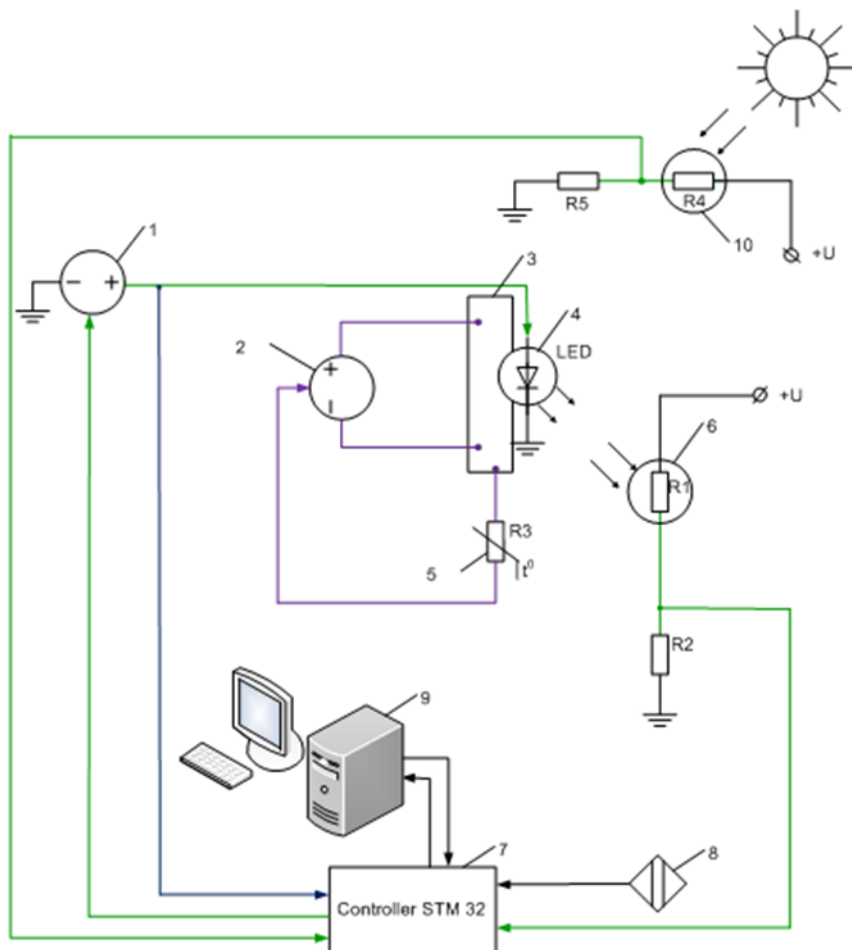


Рисунок 3.2 – Схема керування світлодіодною системою освітлення:

1 – драйвер керування світлодіодом; 2 - джерело живлення керування температурою елемента Пельтьє; 3 – елемент Пельтьє; 4 – світлодіод; 5 – терморезистор; 6, 10 – фоторезистор; 7 – мікроконтролер STM32; 8 – датчик руху; 9 – ПК із програмою інтелектуального керування

Збурення, пов'язані зі змінами струму світлодіода, контролюються за допомогою аналогового входу контролера та відображаються на екрані монітора персонального комп'ютера. Сигнал компенсації невизначеності струму, виходить шляхом інвертування вхідного сигналу і додається до сигналу керування драйвера світлодіода 1.

Для забезпечення роботи освітлювальної системи лише у присутності людей використовується датчик руху 8. Сигнал з датчика надходить на контролер і забезпечує включення або вимкнення системи. Залежно від присутності людей. Для запису алгоритму інтелектуальної системи роботи

мікроконтролера використовують персональний комп'ютер⁹ з необхідним програмним забезпеченням.

Розглянемо більш детально схеми регулювання освітленості та температури.

Схема регулювання температури елемента Пельтьє (рис. 3.3). Схема працює в такий спосіб. Напруга $+U_p$ подається на Елемент Пельтьє і керований транзистор T_d , за допомогою якого здійснюється регулювання струму, що протікає через елемент Пельтьє, і тим самим здійснюється регулювання його температури. Температура контролюється за допомогою термоопору R_{NTC} . При зміні опору в залежності від температури змінюється напруга між R_5 та R_{NTC} , яке надходить на аналоговий вхід мікроконтролера $\mu S_{analoginput2}$.

Залежно від програми керуючої мікроконтролером на аналоговому виході мікроконтролера $\mu S_{analogout2}$ виробляється напруга, яка повинна відповідати напрузі на емітерному опорі R_1 з урахуванням падіння напруги на опорі R_3 . Обидва ці напруги подаються на компаратор K_1 де вони порівнюються. В залежності від різниці напруг транзистор T_d змінює стан від закритого до відкритого при цьому регулює струм між колектором і емітером залежно від напруги, що надходить на базу від компаратора. Таким чином, дана схема дозволяє керувати температурою елемента Пельтьє (ТЕМ) за програмою, вшитої в мікроконтролер. Додаткові елементи R_2 , R_3 , R_4 , R_5 та U_p необхідні для отримання заданого зміщення на вході компаратора.

Аналогічно працює схема керування світловим потоком світлодіода (рисунок 3.4). Єдино у схемі здійснено заміну елемента Пельтьє на світлодіод (LED), а термоопір на фотоопір (R_6).

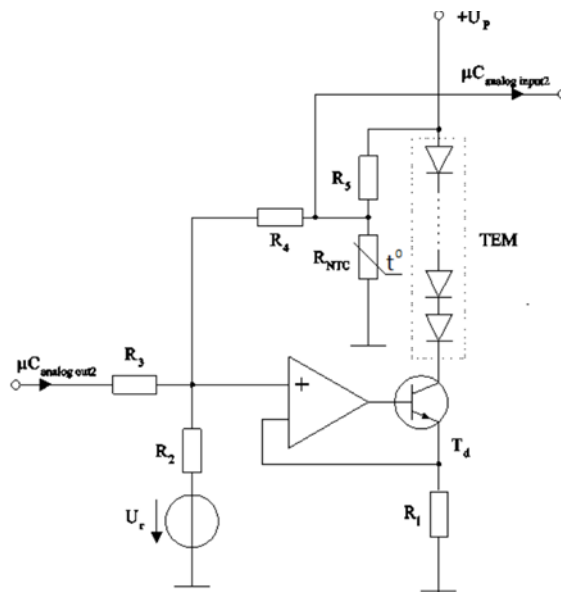


Рисунок 3.3 – Принципова схема регулювання температури елемента Пельтьє

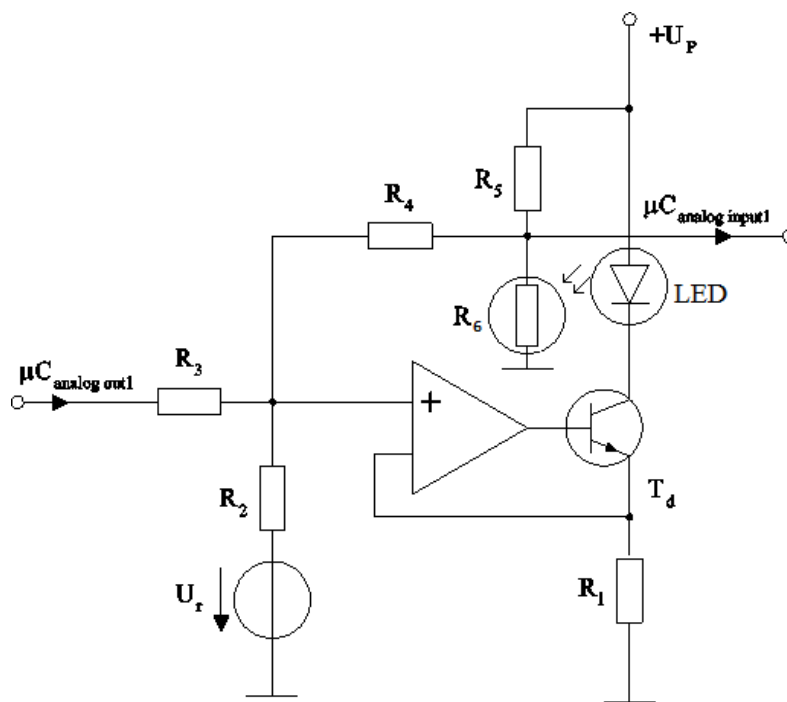


Рисунок 3.4 – Принципова схема регулювання світлового потоку світлодіоду

Вся система керується мікроконтролером (рисунок 3.5), який задає необхідні параметри за температурою та освітленістю. Обидві схеми, показані на рисунках 3.3 і 3.4, є незалежними контурами регулювання розробленої світлодіодної системи освітлення. Проте за одночасної роботи обох контурів регулювання відбувається такий процес: при встановленні заданої освітленості

змінюється температура світлодіода і контур регулювання температури відпрацьовує дані зміни, тобто. компенсуються невизначеності за температурою та освітленістю. Це дозволяє сказати, що використання елементів автоматизованого керування дозволило створити надійнішу систему світлодіодного освітлення.

Як видно з наведеного аналізу результатів роботи регулювання температури та освітленості, взаємозв'язок між контурами регулювання існує і в реальних системах з декількома контурами регулювання відбувається коригування регулятора на реальному об'єкті. На підставі цього відомо, що теоретично розрахувати ПІД-регулятор для всієї системи є неможливим. Тому в нашому випадку, як буде зазначено нижче, коефіцієнти регулятора були підібрані емпірично.

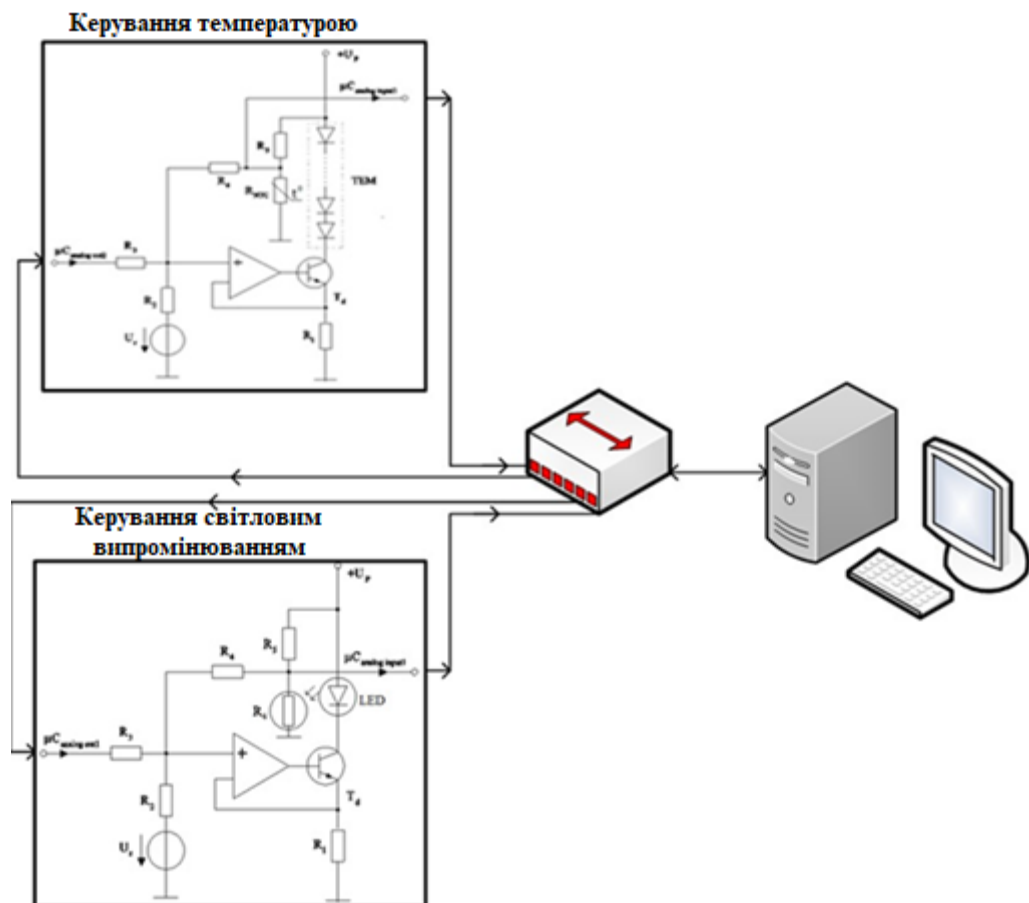


Рисунок 3.5 – Двоконтурне керування системою світлодіодного освітлення
Для представлення моделі всієї системи в цілому викладеної вище

Враховуючи робастність, можна скористатися структурною схемою, показаною на рис 3.6.

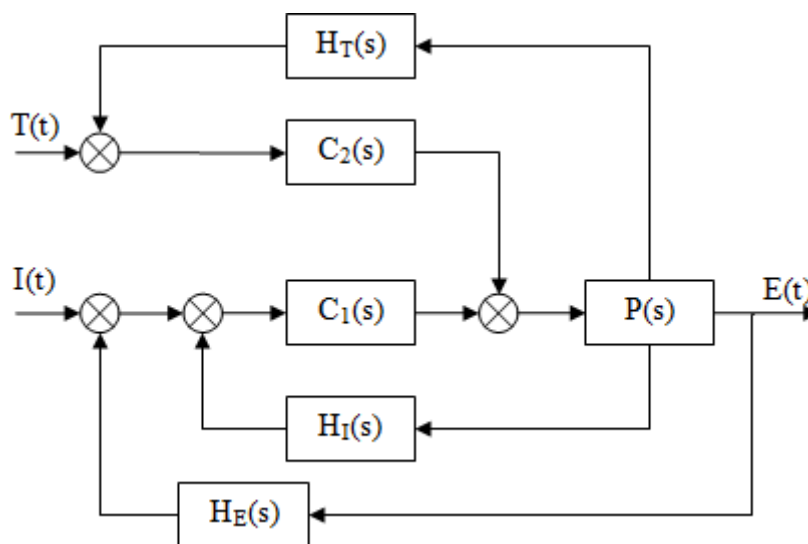


Рисунок 3.6 – Структурна схема автоматизованої системи керування світлодіодною системою освітлення

На даній схемі представлено три контури регулювання, що забезпечують оптимальну роботу потужного білого світлодіода (об'єкта регулювання $P(s)$). На вхід основного контуру подається сигнал $I(t)$.

Цей контур забезпечує регулювання рівня освітленості за рахунок керування регулятором $C_1(s)$ (драйвера світлодіода) середнім струмом світлодіода. Принципова схема регулювання освітленості показана рис 3.4. Флуктуації струму, що є в даній системі, компенсуються за допомогою регулятора $C_1(s)$. Датчик $H_E(s)$ знаходиться всередині драйвера світлодіода і працює в автономному режимі, забезпечуючи високу стабільність струму. В результаті роботи цього контуру підтримується потрібний рівень освітленості $E(t)$.

На вхід другого контуру надходить поточна температура підкладки світлодіода $T(t)$. Виникаючі в системі нестабільності температури контролюються датчиком температури $H_T(s)$ і регулюються за допомогою регулятора $C_2(s)$ заснованого на використанні модуля Пельтьє.

Компенсація різних невизначеностей під керуванням одного контролера дозволяє в реальному часі аналізувати всієї системи загалом персональному комп'ютері. Завдяки цьому система стабілізації керування світлодіодним освітленням стає більш стійкою. Це дозволяє підтримувати робочий режим

кристала світлодіода і як наслідок збільшити час роботи як світлодіода, так і всієї системи в цілому.

3.2 Розробка експериментальної установки світлодіодного освітлення.

Для дослідження параметрів світлодіодів було створено експериментальну установку. Основу експериментальної установки становить автоматизована система керування світлодіодним освітлювальним приладом (рис. 3.7).

Вона складається з двох блоків: світловий модуль, є закритий кожухом світлодіод з датчиком освітленості (рисунок 3.7, позиція 1); блок керування, що включає контролер та елементи живлення для світлодіода та пластини Пельтьє (рисунок 3.7, позиція 2).



Рисунок 3.7 -Зовнішній вигляд експериментальної установки

Структурна схема експериментального стенду наведена на рис 3.8.

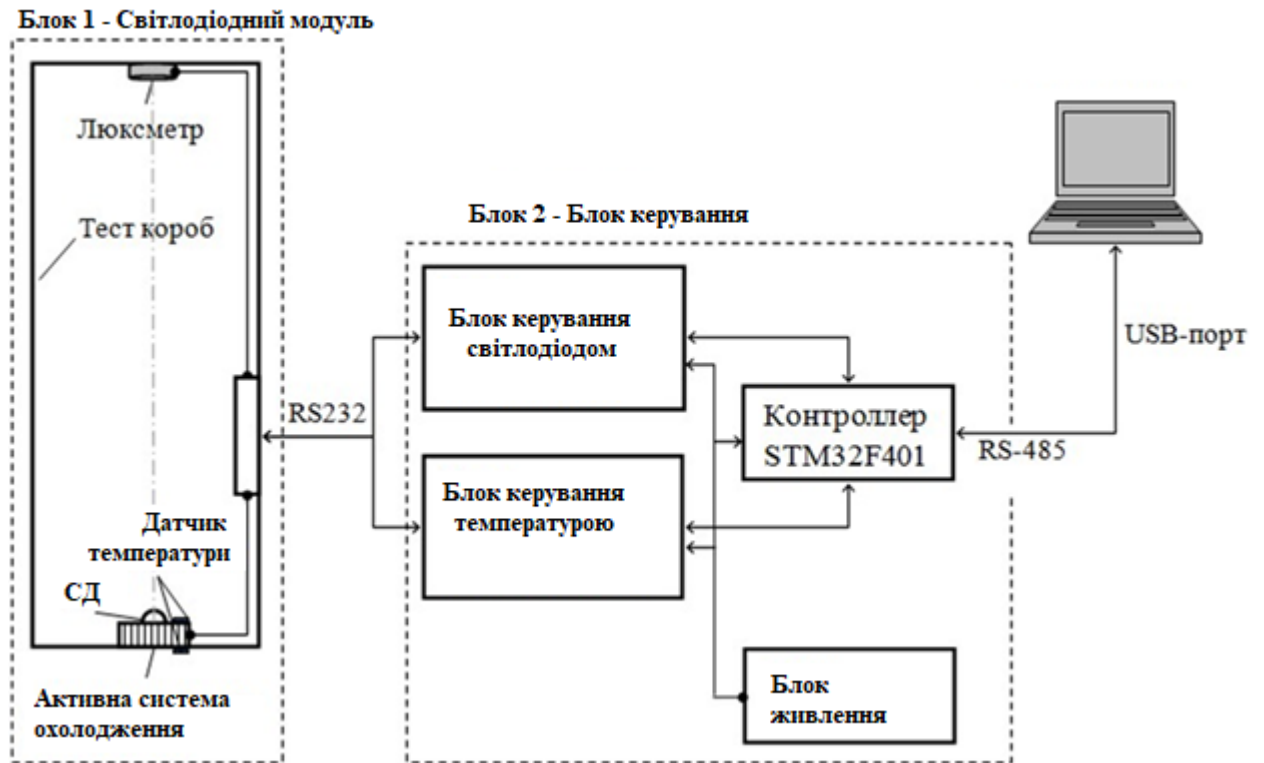


Рисунок 3.8 – Структурна схема експериментальної установки

Зв'язок між блоками здійснюється за допомогою шини RS232, а також блок має два з'єднання з ПЕОМ через конвертор RS485 – USB. На комп'ютері, що управляє, встановлена SCADA система TRACE MODE 6 і розроблений додаток для керування контролером, отримання від нього даних і занесення їх в архів, за допомогою системи керування базами даних ACCESS.

Розглянемо докладніше елементи, що становлять кожен із блоків, та функції елементів автоматизованої системи керування освітленням робочих приміщень.

Світловий модуль конструктивно складається з світлонепроникного короба, в якому встановлено: досліджуваний світлодіод Nichia NCSL219B, система підтримки необхідної температури кристала світлодіода, система контролю освітленості, джерело додаткового освітлення (рисунок 3.9).

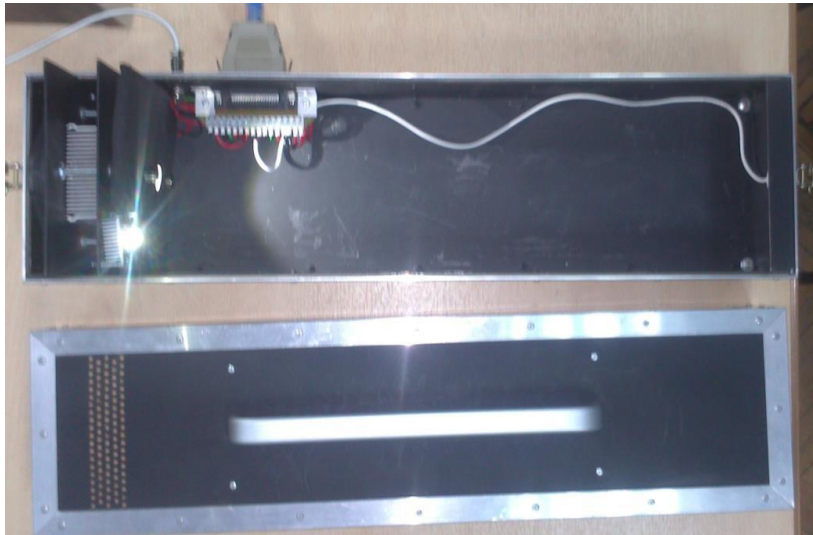


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд світлового модуля

Світлодіод закріплений на алюмінієвій пластині разом із датчиком температури – контролю температури кристала. Пластина через кремнійорганічну теплопровідну пасту, за допомогою пружинних затискачів, кріпиться до однієї сторони елемента Пельтьє. До іншого боку елемента, через кремнійорганічну теплопровідну пасту, кріпиться масивний радіатор з вентилятором для відведення або підведення тепла, залежно від функції нагрівання чи охолодження відповідно. На радіаторі встановлено датчик температури – необхідний для запобігання перегріву елемента Пельтьє. Дана конструкція показана рис 3.10.

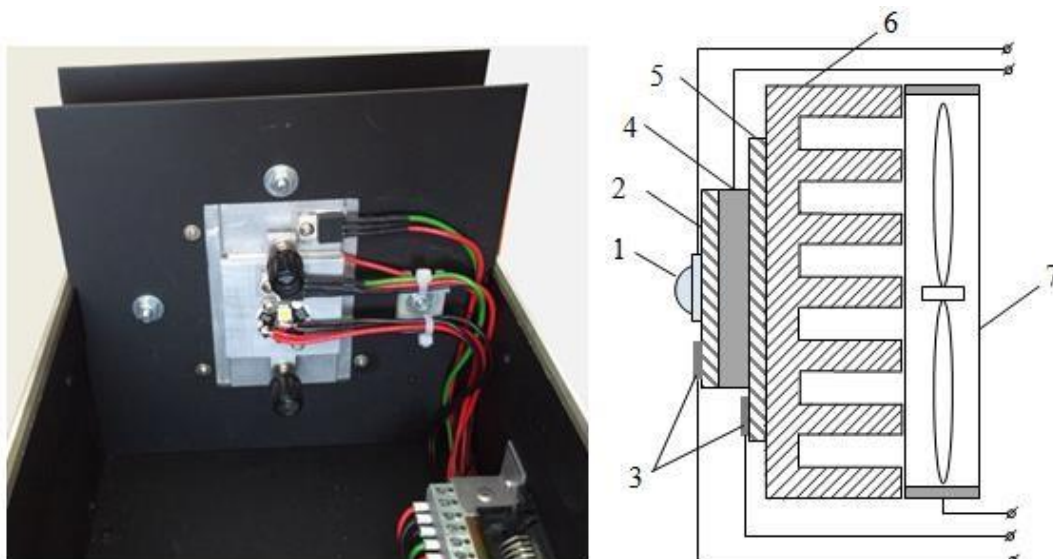


Рисунок 3.10 – Конструкція підтримки температури кристала світлодіода: 1 – світлодіод; 2, 5 – алюмінієва пластина; 3 – датчики температури; 4 – пластина Пельтьє; 6 – мідний радіатор; 7 – вентилятор

Напроти світлодіода, на його осі, розташований датчик освітленості – калібрований люксометр, який вимірює сумарну освітленість від штучного (досліджуваного) та природного джерела освітлення.

Для моделювання природного освітлення використовується додатковий світлодіод, встановлений у коробі та керований від джерела струму IT-300.

Усі керуючі схеми перебувають у блоці керування, виконаному вигляді металевого кейса (рисунок 3.11). Пульт керування складається з наступних вузлів: мікропроцесорний блок, блок живлення, конвертор інтерфейсів USB у RS-485, блок керування світлодіодом, блок керування температурою.



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд плати контролера з блоками керування світлодіодом та елементом Пельтьє: 1 – блок контролера; 2 – блок керування нагрівачем; 3 – блок керування світлодіодом

Модуль контролера функціонально складається з: основної плати, на 32-бітному мікропроцесорі ARM Cortex M4 STM32F401, до якої підключено блок керування світлодіодом та блок керування нагрівачем.

Мікропроцесорний блок здійснює зчитування та обробку нормалізованих сигналів з датчиків, видачу керуючих сигналів на інші вузли, обмін інформацією з АРМ оператора та виконання команд оператора. Можлива робота системи як під керуванням комп'ютера, так і в автономному режимі. Для відображення інформації про режими в автономному режимі мікропроцесорний блок має

мініатюрний графічний РК індикатор. Програмне забезпечення мікроконтролера дозволяє звертатися до нього через стандартний протокол MODBUS. Для керування температурою та струмом світлодіода використовується програмні ПІД-регулятори, для яких можна задати коефіцієнти. Крім того, регулювання струму світлодіода можна здійснювати за двома параметрами - безпосередньо струм світлодіода або освітленість.

Блок керування світлодіодом управляє струмом світлодіода залежно від завдання, контролює температуру кристала, вимірює освітленість та передає дані контролеру основної плати. Блок керування світлодіодом призначений для стабілізації струму світлодіода на підставі сигналів, що управляють, від мікропроцесорного блоку. Крім того, в даному блоці проводиться первинна обробка сигналів струму світлодіода, падіння напруги на кристалі, світлового потоку та температури світлодіода.

Блок керування нагрівачем керує температурою кристала світлодіода за допомогою елемента Пельтьє, контролює температуру радіатора та керує вентилятором припливу повітря. Призначений для живлення елемента Пельтьє, за допомогою якого підтримується задана температура світлодіода. Регулювання здійснюється зміною напруги живлення елемента Пельтьє та зміною полярності живлення для перемикання режимів нагрівання/охолодження .

Блок керування нагрівачем та блок керування світлодіодом пов'язаний з основною платою. Основна плата контролера отримує дані від обох блоків. На основі цих параметрів управляє регуляторами струму та температури світлодіода, відправляє дані в SCADA систему через USB – для архівування та подальшої обробки.

3.3 Аналіз експериментальних даних

В результаті дослідження режимів роботи світлодіодів було показано, що при даній системі регулювання з компенсацією температурних та струмових невизначеностей (з використанням робастності) можна отримати стійкий режим роботи (широкий діапазон зміни параметрів зовнішнього середовища)

світлодіода. Цей режим дозволяє повністю усунути деградацію світлодіодної матриці, а також забезпечити найвищі показники освітленості.

На рис 3.12 ми бачимо поведінку температури світлодіода за різних струмів при температурі приміщення 25 °С. Показано три залежності: нижня крива отримана при струмі 250 мА, друга при струмі 300 мА, третя при струмі 350 мА. Встановлено, що з підвищенням струму збільшується температура кристала світлодіода, яка з часом виходить у насичення. Так у першому випадку насичення досягається при 30 °С, в другому 31 °С, і в третьому випадку 32 °С. Дослідження дозволяють вивчати поведінку температури при потужніших струмах, проте при збільшенні струму більше 350 мА з часом падає інтенсивність випромінювання, а при струмах 450 мА і більше діод деградує. У реальних освітлювальних системах ми бачимо поступову деградацію, так як діоди в освітлювальному приладі працюють при оптимальному струмі 350 мА, а температура підвищується за рахунок зовнішніх умов і тільки в окремих випадках за рахунок стрибка напруги в схемі живлення.

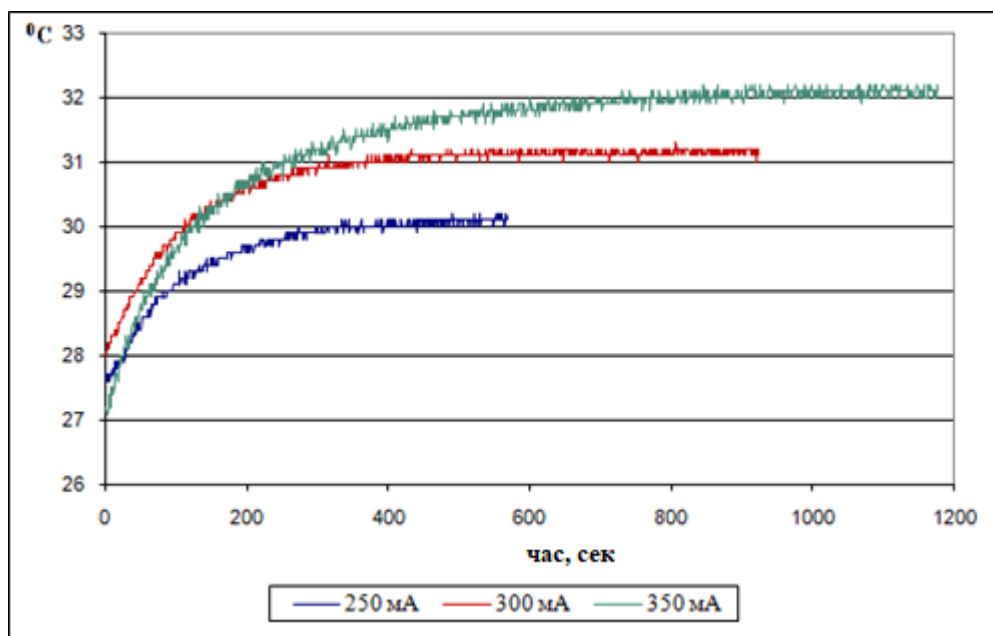


Рисунок 3.12 – Перехідний процес встановлення температури світлодіода за різних струмів

Поведінка зміни температури при різних струмах показує, що при стабілізації струму (як у нашому випадку) ми не бачимо різких стрибків

температури, простежується лише білий шум, який є у всіх електронних пристроях.

При включеній стабілізації за освітленістю залежність температури має дещо змінений вигляд. На рис 3.13 показаний перехідний процес установки певної температури з допомогою розробленої системи автоматизації, тобто. робота додаткового контуру регулювання, що забезпечує робастність системи. Параметри зняті при струмі через світлодіод 350 мА, температурі підкладки світлодіода 25⁰С і температурі навколишнього середовища 25⁰С.

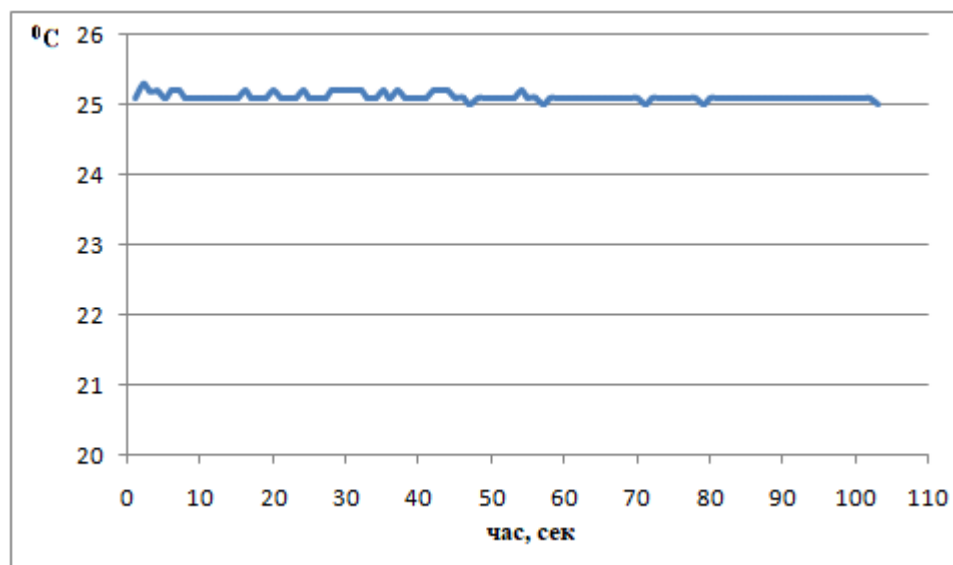


Рисунок 3.13 – Перехідний процес встановлення температури за допомогою розробленої системи регулювання

Як очевидно з отриманих експериментальних залежностей система працює у оптимальному режимі, температура змінюється на $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що не позначається на роботі світлодіода.

При стабілізації температури (усунення невизначеності флуктуації температурних режимів) вихідна потужність світлодіодів має більш стабільний характер. Потужність після насичення (рис 3.14, 3.15) не має змін у часі як у більшу, так і меншу сторону.

Незважаючи на те, що існує основний контур регулювання потужності при значній зміні температури, що відбуваються за природних умов експлуатації освітлювальних приладів, діапазону регулювання не вистачає для підтримки

заданої потужності. Як сказано вище у нашому випадку, використовуючи робастний підхід (підтримуючи постійну температуру кристала світлодіода), отримуємо стабілізовану потужність при тривалій експлуатації світлодіода.

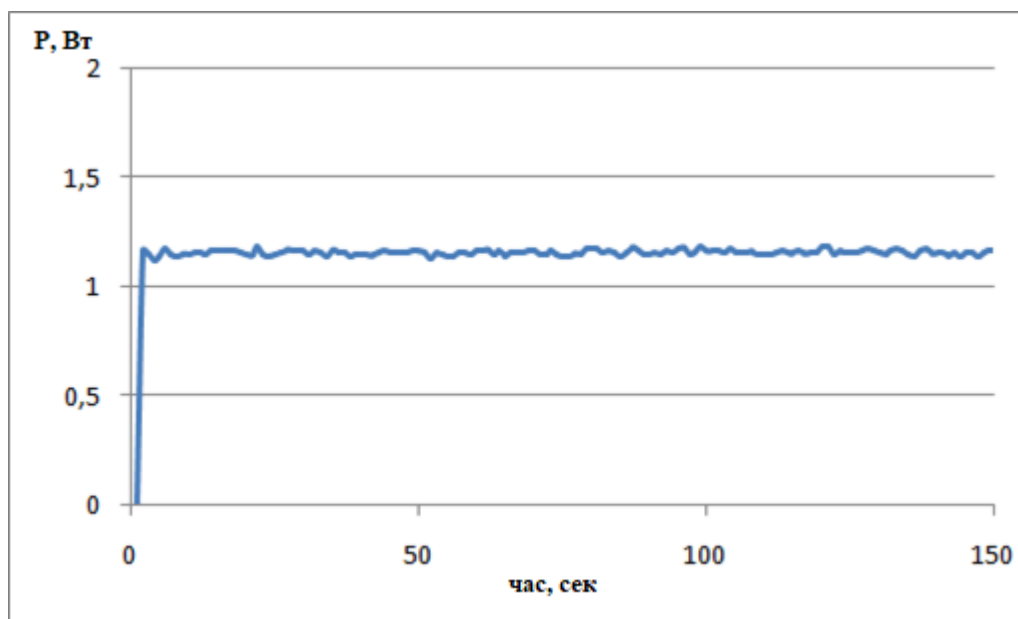


Рисунок 3.14 – Залежність потужності світлодіода від часу за стабілізованої температури 25°C

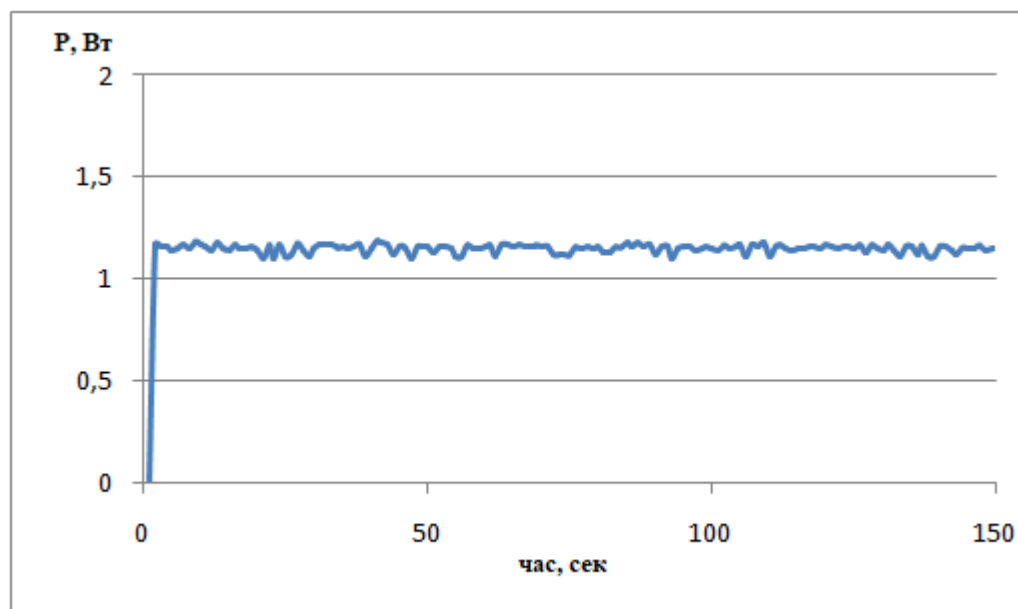


Рисунок 3.15 – Залежність потужності світлодіода від часу за стабілізованої температури 40°C

Отримані оптичні характеристики потужних білих світлодіодів дозволяють зробити висновок можливості організації імпульсних режимів роботи світлодіода. На рисунках 3.14 і 3.15 видно, що крутість фронту дуже висока і дасть можливість перейти до режимів світлодіодів з дуже короткими імпульсами.

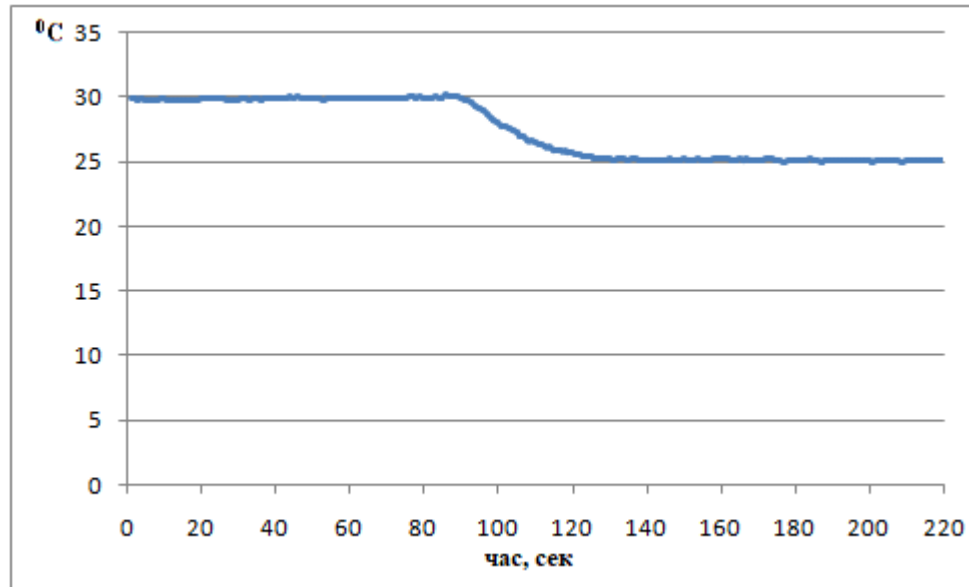


Рисунок 3.16 –Зміна температури за рахунок автоматизованої системи керування

Рисунок 3.16 показує гнучкість керування світлодіодним освітлювальним приладом. Керування світлодіодом (температурою) під час його роботи не заважає стійкій роботі освітлювального приладу загалом.

Результати експерименту показали, що використання сучасних підходів при управлінні складними системами дозволяють забезпечити стабільність режимів роботи системи. За рахунок цього система як видно з рис. 3.13 стає більш стабільною та забезпечує тривалу стійку роботу потужних світлодіодів освітлення.

На рисунку 3.17 показано зміни освітленості світлодіода від температури підкладки кристала при різних значеннях струму. Дослідження проводилися за температури приміщення 25 °C.

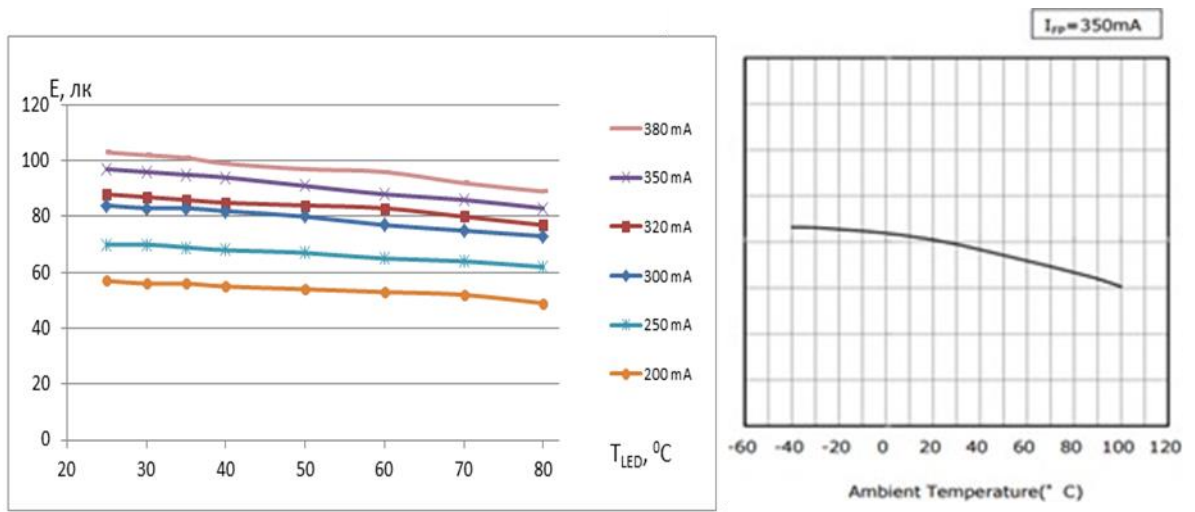


Рисунок 3.17 – Залежність зміни освітленості від температури за різних струмів світлодіода

Залежність освітленості світлодіода від струму, що протікає, при різних температурах основи світлодіода показана на рис 3.18.

Слід зазначити досить високе наближення отриманих значень параметрів заявлених фірмою виробником.

Використання запропонованої методики в освітлювальних приладах високої потужності дозволить значно збільшити тривалість роботи, а також уникнути деградації кристалів світлодіодів. При цьому використання освітлювальних приладів можливе як в офісних, виробничих приміщеннях, так і освітлювальних приладах зовнішнього освітлення.

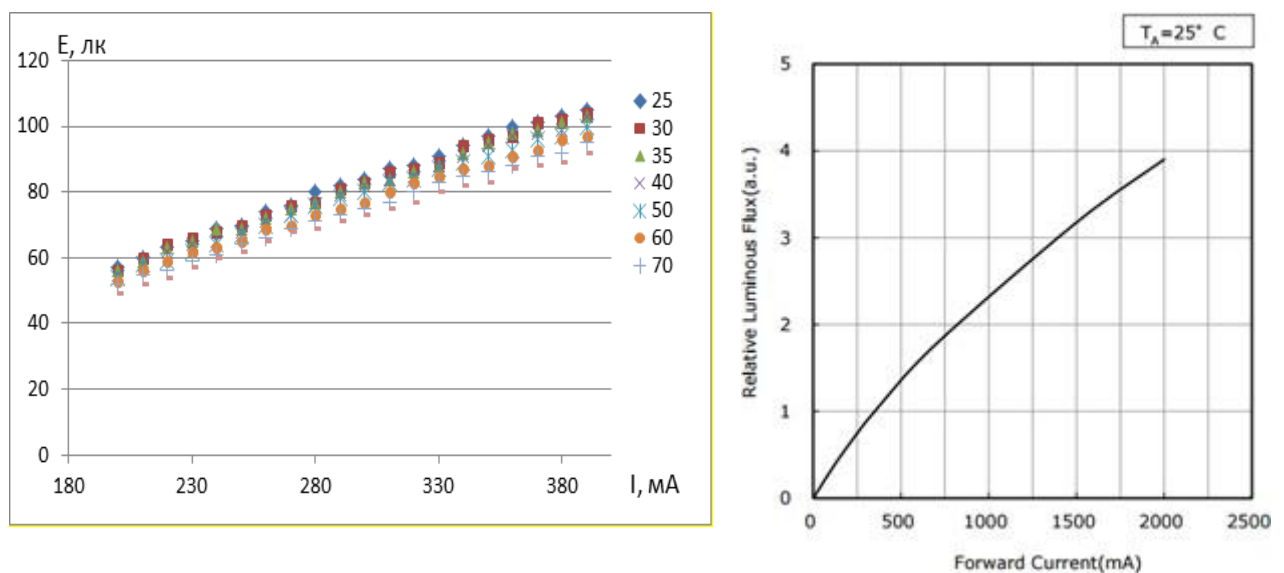


Рисунок 3.18 – Залежність освітленості світлодіода від сили струму за різних температур

Дана методика дозволяє виключити як зовнішні, так і внутрішні невизначеності, додаючи контури керування відповідно до автоматизованого підходу. Подальший розвиток методики пов'язаний з дослідженням робастної стійкості та впливом її на регулювання освітленості в агресивних умовах високих температур та підвищеної вологості.

3.4 Висновки до розділу

У цьому розділі отримано такі результати:

- розроблено систему керування світлодіодним освітленням з урахуванням компенсації невизначеностей;
- розроблено принципову схему системи регулювання, що забезпечує стійку роботу освітлення при значній зміні зовнішньої температури та з коригуванням впливу природного або додаткового освітлення;
- створено експериментальний стенд на дослідження світлотехнічних характеристик білих потужних світлодіодів;
- отримані експериментальні результати поведінки системи освітлення при стаціонарних зовнішніх умовах та при швидкому перемиканні режимів температури та освітленості;

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Безпека при виготовленні друкованих плат

При розробці системи автоматичного повороту фотоелектричних модулів першим етапом виготовлення пристрою є витравлювання друкованих плат.

Сучасна технологія виготовлення друкованих плат складається з великої кількості різних механічних, фотохімічних і хімічних операцій.

При виконанні технологічних процесів виготовлення друкованих плат можуть виникнути наступні небезпеки і шкідливості: ураження електричним струмом, вибухо- і пожежонебезпека, термічний опіки, хімічний опік, небезпека травмування механічними пристроями, ураження шкірних покривів і отруєння, шум, вібрація, світловий вплив газорозрядних ламп.

Більшість матеріалів і речовин, що застосовуються при виготовленні друкованих плат, є небезпечними для здоров'я і життя людини. Шкідливі речовини та їх пари можуть проникати в організм людини через органи дихання, шкіру і травний тракт.

Вдихання хімічних речовин у будь-якому агрегатному стані (газ, пари, пил) призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і до загальнотоксичного ефекту при всмоктуванні речовин в кров. У травний тракт шкідливі речовини потрапляють при вживанні води, їжі та курінні на ділянках виготовлення друкованих плат.

Нагрівання розчинів веде до інтенсивного паротворення і виділенню газів, що несуть з собою частинки розчину, а це призводить до збільшення забруднення атмосфери виробничих приміщень. Так, хлоровані вуглеводні (трихлоретилен, тетрахлоретан) при дії на них сонячного світла або відкритих джерел полум'я утворюють нову речовину – газ фосген (надзвичайно небезпечний), а при реагентному методі очищення відпрацьованих вод від сполук ціану може утворитися хлорціан. Попадання кислоти в лужний ціаністий електроліт, змішування кислих і ціаністих стоків або вентиляційних викидів може призвести до утворення ціаністого водню. Процеси знежирення, травлення, електрохімічної

обробки і хімічного фрезерування супроводжуються виділенням парів кислот і лугів і надходженням їх в зону дихання [5, с. 128].

Багато шкідливих речовини потрапляють в організм через шкіру, особливо небезпечні хромові композиції, концентровані кислоти, луги та розчинники.

У відділеннях приготування електролітів завжди має місце висока концентрація пилу і парів токсичних речовин, особливо під час розтарування матеріалів, дозування, приготування розчинів, змішування сипучих компонентів і транспортних операцій.

При ціаністому мідненні і срібленні утворюється ціанистий водень, який надходить в атмосферу, в цих випадках відчувається запах мигдалю. Поява ціанідів у повітрі над ваннами – результат виносу дрібних крапельок електроліту бульбашками газів (водню і кисню), що виділяються на електродах при електролітичній дисоціації, а також випаровування розчинів. Ціанистий водень утворюється в результаті контакту ціанистого розчину з вуглекислою. У ванн окисдування виявляються пари лугу, у ванн декапірування – пари соляної кислоти, у ванн освітлення алюмінію азотною кислотою – оксиди азоту, у ванн кадміювання – оксиди кадмію; при нікелювання – ціанистий водень, при хромуванні – хромовий ангідрид, при очищенні свинцевих анодів – пил свинцю.

Однією з умов забезпечення безпеки праці є потоковість виробництва у відповідності з технологічною послідовністю окремих операцій, передбачаючи автоматизацію і механізацію процесів, а також централізація приготування електроліту. Пульти оператора автоматичних ліній з програмним керуванням повинні бути віддалені від ванн на певну відстань, що виключає вплив на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів [5, с. 131].

При неможливості автоматизації процесів повинна бути забезпечена комплексна механізація окремих операцій – підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема, завантаження плат у ванни та їх вивантаження.

Особлива увага приділяється заміні токсичних речовин менш токсичними або нетоксичними, заміні шкідливих операцій менш шкідливими. Всі робочі місця обладнуються витяжною вентиляцією, а працюючі застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, очей і шкірних покривів.

4.2. Техніка безпеки при експлуатації електрообладнання та електромереж

До обслуговування електрообладнання допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, що заважають виконанню робіт, що отримали вступний і первинний інструктажі на робочому місці, виробниче навчання, перевірку знань.

Електромонтер повинен знати схему електропостачання об'єктів виробництва, повинен мати навички прийомів технічних методів обслуговування електроустановок. Він забезпечується усіма засобами індивідуального захисту та спецодягом. Інструменти і засоби захисту повинні бути випробувані, справні та використовуються за призначенням [13, с. 76].

При експлуатації діючих електроустановок застосовують електрозахисті засоби та запобіжні пристосування. Ручне включення і відключення устаткування напругою понад 1000 В необхідно виконувати в діелектричних рукавичках, колошах або на килимку. Відключення виконують таким чином: відключають роз'єднувачі, знімають плавкі вставки запобіжників, від'єднують привод мережі. Після вивішування плаката перевіряють відсутність напруги на відключеній ділянці мережі. В оперативному журналі роблять запис про відключення. Включення проводять тільки після відмітки в журналі про закінчення робіт із зазначенням відповідальної особи.

Безпека виконання забезпечується також організаційними заходами. До них відноситься оформлення роботи нарядів, оформлення допуску до роботи, нагляд під час виконання роботи [13, с. 78].

Наряд є письмовим дозволом на роботу в електроустановках, що визначає місце, час, початок і закінчення робіт; умови безпечного його проведення, склад бригади та осіб, відповідальних за безпеку. Без наряду по усному чи письмовому розпорядження, але з обов'язковим записом в журналі можуть виконуватися такі роботи, як прибирання приміщень до огороження електрообладнання, чистка кожухів, доливка масла в підшипники, догляд за колекторами, контактними кільцями, щітками, заміна запобіжників. При роботі з електроустановками напругою до 1000 В без зняття напруги необхідно: захистити

розташовані поблизу робочого місця інші струмовідні частини, що знаходяться під напругою, до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричних калошах або стоячи на ізолюючій підставці, або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень), за відсутності такого інструменту користуватися діелектричними рукавичками.

При виконанні робіт без зняття напруги на струмовідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця; розташовувати ізолюючі частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

При виявленні порушення лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними має бути негайно припинене [13, с. 81].

Щозмінні огляди електрообладнання та мереж повинен проводити черговий електрик. При огляді слід звертати увагу на наступне: відсутність змін стану електрообладнання при його функціонуванні; ступінь корозії, фарбування труб, кріпильних елементів; справність вводів проводів та кабелів в електроустановку; справність заземлюючих пристроїв; наявність попереджувальних плакатів та знаків маркування на вибухонебезпечному електрообладнанні; наявність всіх передбачених конструкцією болтів, що кріплять елементи оболонки (вони повинні бути добре затягнуті); потрапляння на електрообладнання бризок, крапель і пилу.

При виявленні ненормальної роботи силового трансформатора черговий електрик повинен вивести його з роботи з обов'язковим дотриманням усіх заходів особистої безпеки, використовуючи необхідні засоби індивідуального захисту. Таке відключення проводиться при: сильному нерівномірному шумі і потресуванні всередині трансформатора; ненормальному і постійно зростаючому нагріванні трансформатора при номінальному навантаженні і роботі пристроїв

охолодження; викид масла з розширювача або розриві діафрагми вихлопної труби; течі масла з пониженням його рівня нижче мінімально допустимого.

При цьому робиться запис в оперативному журналі і повідомляється відповідальному за електрогосподарство [13, с. 83].

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів вимагають проводити регулярні огляди та ремонт електромереж, а також вимірювання опору та ізоляції.

4.3. Проведення планування заходів цивільного захисту на підприємстві у випадку надзвичайних ситуацій

Екологічна обстановка у світі останніми роками погіршилась і вважається несприятливою. Засоби масової інформації майже щодня повідомляють про надзвичайні ситуації, що відбуваються у світі: лісові пожежі, повені, цунамі, землетруси, обвали, зсуви, селеві потоки, виверження вулканів, урагани, смерчі, снігові й пилові бурі та інші стихійні лиха, аварії і катастрофи на підприємствах і транспорті, що супроводжуються загибеллю людей, руйнуванням населених пунктів і об'єктів господарювання, у тому числі й у сільському господарстві, а часто забрудненням і зараженням довкілля.

Щорічно в нашій країні виникають надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, що призводить до загибелі багатьох людей і значних матеріальних збитків.

Масштаби, характер руйнувань і кількість постраждалих людей залежать від типу, масштабу і місця аварії, катастрофи або стихійного лиха, від швидкості розвитку надзвичайної ситуації, особливостей регіону, об'єктів господарювання і населених пунктів, що опинилися в районі надзвичайної ситуації. Таку ситуацію можна порівнювати з воєнними діями. Для проведення рятувальних робіт потрібне залучення великої кількості людей і матеріальних ресурсів, а несподіваний розвиток подій скорочує час на підготовку і проведення таких заходів [30].

Зниження масштабів людських втрат та матеріальних збитків, запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного і природного характеру, ліквідація їх наслідків є важливою загальнодержавною проблемою і одним з найважливіших завдань органів виконавчої влади, всіх органів керування цивільної оборони, керування всіх рівнів, спеціалістів і населення. Кардинальне вирішення проблем захисту населення і територій України від НС, зменшення їх соціально-економічних і екологічних наслідків можливе лише шляхом проведення цілого комплексу заходів.

У значній мірі досягнення цієї мети залежить від уміння керівників усіх рівнів (від об'єктового до урядового), спрогнозувати усі можливі наслідки НС, чітко спланувати заходи щодо їх запобігання та ліквідації, організувати керування під час їх виконання, високого стану готовності до дій у НС органів керування, сил і населення [Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 №5403-VI, ст. 130]. Виконання всіх умінь, завдань, перш за все, буде залежати від якості планування та повноти виконання запланованих заходів на об'єктовому рівні [16, с. 395].

Суть планування заходів ЦЗ, на випадок НС полягає в аналізі стану ЦЗ;

- оцінка обстановки, яка може скластися при виникненні аварій, катастроф і стихійних лих та застосування противником сучасних засобів ураження;
- розробка заходів, спрямованих на захист населення та підвищення стійкості функціонування в мирний час та в особливий період;
- установлення послідовності, строків, способів здійснення намічених заходів і виконавців та визначенні необхідних ресурсів для їх проведення.

Головною метою планування заходів ЦЗ є створення умов для:

- організованого і своєчасного проведення заходів захисту робітників, службовців, їх сімей і населення, яке мешкає в зоні можливого ураження;
- забезпечення успішного проведення рятувальних і невідкладних робіт (РіНР) при ліквідації наслідків НС техногенного та природного характеру;
- участі в територіальній обороні та антитерористичній діяльності в особливий період.

Планування має бути також спрямоване на те, щоб запобігти або максимально знизити людські та матеріальні втрати, а також забезпечити

життєдіяльність галузі, регіону підпорядкованих їм об'єктів і населення у разі виникнення вищезазначених ситуацій.

При плануванні заходів ЦЗ на особливий період повинно забезпечуватися взаємне узгодження і ув'язка їх із заходами мобілізаційного розгортання народного господарства та заходами, які проводять військове командування та органи керування ЦЗ [16, с. 396].

Планування повинно бути реальним, цілеспрямованим, конкретним, точним, гнучким, перспективним, базуватися на глибоко продуманих рішеннях, обґрунтованих розрахунках та враховувати специфіку і особливості діяльності. Воно повинно здійснюватися завчасно та забезпечувати своєчасний ввід планів ЦЗ в дію, особливо під час раптового виникнення НС техногенного та природного характеру і в особливий період.

Документами для планування є укази Президента України, законодавчі акти ВРУ, постанови та розпорядження КМУ, «План реагування на НС державного рівня», витяги з рішення начальника ЦЗ області, району по організації та веденню ЦЗ на території області або району, витяг з «Плану організації евакозаходів та визначення місць розміщення евакуйованого населення».

На об'єктах господарювання повинні бути розроблені два плани, а саме:

- дій з попередження та ліквідування НС (на мирний час);
- цивільного захисту (на воєнний час) [30].

Головна мета цих планів – максимальне зниження людських та матеріальних втрат у будь-яких умовах обстановки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі можна зробити наступні висновки:

- Проведений аналіз сучасного стану функціонування та розвитку світлодіодних освітлювальних приладів та автоматизованих систем освітлення.
- Проведено моделювання конструкції світлодіодної матриці, що дозволило здійснити оптимізацію температурних режимів та використати дану конструкцію у системах освітлення для підвищеної надійності та довговічності.
- Проведено дослідження світлотехнічних характеристик потужних світлодіодів за різних температурних режимів. Отримані експериментальні дані, що дозволяють створити оптимальну конструкцію світлодіодної лампи під критерії мінімальної температури робочої поверхні лампи.
- Створено експериментальну установку, за допомогою якої отримано оптимальні режими роботи світлодіодної освітлювальної системи для внутрішнього освітлення, підтверджені теоретичними розрахунками.
- Розроблено алгоритм та програму для дослідження режимів роботи світлодіодної освітлювальної установки з контролем та управлінням температури.
- Отримано експериментальні дані при проведенні натурних експериментів, що підтверджують енергоефективність розробленої автоматизованої системи світлодіодним освітленням.
- Проведено порівняльний аналіз роботи систем освітлення на основі світлодіодної технології з реалізацією нової автоматизованої системи та без неї, з люмінесцентною системою освітлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Давиденко Ю. Современные светодиоды // Компоненты и технологии.– 2004. – №5. – С.12-16; №6. – С. 38–43.
2. Миронов С. Интегральные драйверы для светодиодного освещения //Новости электроники. – 2010. – №10.– С. 3–12.
3. Лебедев В., Котов В., Цевелюк Е., Шестопалов С. LED-драйверы и системы управления светодиодным освещением // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – №1. – С.48–51.
4. Махлин А. Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп//Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №1. – С.30-33.
5. Отчет компании «LSRC» LED Luminaire Lifetime: Recommendations for Testing and Reporting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energy.gov/sites/prod/files/2015/01/f19/led_luminaire_lifetime_guide_sept2014.pdf.
6. Конопельченко А. Новые DC/DC-драйверы светодиодов от компании Peakelectronics // Современная светотехника. – 2011. – №2. – С. 34–37.
7. Соломатин М., Автушенко К. Решения компании International Rectifier для систем светодиодного освещения // Современная светотехника. – 2013. – №5. – С. 56–63.
8. РайтМ. Микросхемы драйверов светодиодов с различной функциональностью для полупроводниковых светотехнических изделий // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – №6. – С. 6–10.
9. Камчатов А., Гальцов А. Источник постоянного тока LEDinGRAD// Современная светотехника. – 2014. – №3. – С.18–22.
10. Петропавловский Ю. Микросхемы драйверов светодиодов фирмы Rohm Semiconductor // Полупроводниковая светотехника. – 2010. –№5.–С.42-49.
11. Ромадина И. Новый линейный драйвер NSI50350 от ON Semiconductor для 1-Вт светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2010. –№6. – С. 27–30.

12. Пазюк А. DC/DC и обвязка в мини-корпусе: модульные импульсные преобразователи Texas Instrument // Новости электроники. – 2016. – №5.– С.6– 11.
13. Обзор продукции для светодиодного освещения фирмы Texas Instruments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/llds/ti/power-management/led-driver-products.page>.
14. Пескин А. Интеллектуальные световые системы или мечты дизайнеров сбываются // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – №2. – С. 60–63.