

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Підвищення ефективності розрахунку теплового режиму роботи
світлодіодного пристроя**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Варга С.Ю.
(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 2021 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 Варгі Себастьяну Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності розрахунку теплового режиму роботи світлодіодного пристрою

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

Затверджені наказом ректора від «26» січня 2021 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Провести дослідження теплових режимів світильника і показати, як комп'ютерне теплове моделювання здатне допомогти в досягненні проектних цілей в частині надійності, розмірів, форми і експлуатаційних характеристик виробу ще на стадії проектування.

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1. Дослідження температури нагріву в одиничному світлодіоді

2. Комп'ютерне моделювання теплових процесів в одиничному світлодіоді

3. Дослідження температури нагріву світлодіодного світильника

4. Комп'ютерне моделювання теплових процесів світлодіодного світильника

5. Висновки

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 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	26.02.2021	
2	Аналітичний розділ	31.03.2021	
3	Проектно-конструкторський розділ	16.04.2021	
4	Розрахунковий розділ	30.04.2021	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	14.05.2021	
6	Висновки	31.05.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2021	
8	Оформлення графічної частини	14.06.2021	

Студент

_____ (підпис)

Варга С.Ю.

_____ (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 ЕТс-41. - Т. : ТНТУ, 2021.

Стор.63; рис. 47; табл. 3; креслень 5; джерел 21; додатків 2.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Підвищення ефективності розрахунку теплового режиму роботи світлодіодного пристроя».

Мета кваліфікаційної роботи полягає у вирішенні проблеми регулювання теплових режимів і показати, як комп'ютерне теплове моделювання здатне допомогти в досягненні проектних цілей в частині надійності, розмірів, форми і експлуатаційних характеристик виробу ще на стадії проектування. Тим самим значно знижуючи фінансові та часові витрати на виконання проекту.

Виконано глибокий аналіз роботи програмного продукту SolidWorksSimulation на основі розрахунку одиничного світлодіода з метою освоєння завдань граничних і початкових умов і, щоб уникнути спотворення результатів і неправильності розрахунку при дослідженні складного багато елементного світлодіодного світильника.

Виконано аналіз руху повітряних потоків з метою аналізу повітряних пробок в програмному середовищі SolidWorks FlowSimulation.

Ключові слова: теплові режими, світлодіод, комп'ютерне моделювання, світлодіодний світильник.

					<i>КРБ 19 - 018.00.00.00 ПЗ</i>		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розроб.		Варга С.Ю.					
Перевір.		Філюк Я.О.					
Консульт.							
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.					
Затверд.		Тарасенко М.Г.			Літ.	Арк.	Акрушів
<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>							

ЗМІСТ

Реферат	3
Вступ	6
1 Аналітичний розділ	8
1.1 Аналіз конструкції і теплових режимів сучасних світлодіодних світильниках	8
1.2 Примусове охолодження повітряним потоком	10
1.3 Примусове охолодження рідинним елементом	11
1.4 Природне повітряне охолодження	12
1.4.1 Корпуси - охолоджувачі, отримані методом лиття	13
1.4.2 Радіатори отримані методом екструзії	14
1.5 Сучасні рішення відводу теплової потужності від високопотужних СД	15
1.5.1 Фронтальне охолодження	16
1.5.2 Охолодження за допомогою наскрізного переносу теплових мас	17
1.6 Висновки до розділу	20
2 Розрахунковий розділ	21
2.1 Складання теплової схеми заміщення і тепловий розрахунок одиничного світлодіода	21
2.2 Експериментальне дослідження температури нагріву одиничного світлодіода	25
2.3 Комп'ютерне моделювання теплових процесів, що протікають в одиничному світлодіоді в програмному середовищі Solidworks Simulation	28
2.4 Аналіз руху теплового потоку	33
2.5 Висновки до розділу	34

					<i>КРБ 19 - 018.00.00.00 ПЗ</i>						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ						
Розроб.		Варга С.Ю.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.									
Консульт.									<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.									
Затверд.		Тарасенко М.Г.									

3	Проектно–конструкторський розділ	35
3.1	Опис технічних параметрів світлодіодного світильника, обраного для дослідження	35
3.2	Складання теплової схеми заміщення і тепловий розрахунок одиничного світлодіода	38
3.3	Експериментальне дослідження температури нагріву одиничного світлодіода	42
3.3.1	Вимірювання температури термопарою	42
3.3.2	Вимірювання температури тепловізером	46
3.4	Комп'ютерне моделювання теплових процесів, що протікають в світильнику	47
3.5	Висновки до розділу	52
4	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	53
4.1	Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок	53
4.2	Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок	55
4.3	Захист електротехнічних систем та електронної апаратури від пошкоджень, які викликані електромагнітним імпульсом ядерного вибуху	57
	Загальні висновки	60
	Перелік посилань	62

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Світлодіодна світлотехніка в сучасному світі в значній мірі набирає обертів, і поступово витісняє звичні джерела штучного освітлення. Таке зростання дасть пояснення групою причин, де далеко не крайній є і екологічні нормативні документи, збереження і охорона навколишнього середовища.

Світлодіоди (СД) більш ефективні в порівнянні з традиційними «Лампочками Ілліча» і набагато менш шкідливі при утилізації, ніж люмінесцентні світлові прилади. Також деякі вихідні параметри СД мають можливість коригування (колірна температура, яскравість і т.д.). Наслідком з цього можна сказати, що СД є досить гнучким джерелом світла, що дозволяє використовувати їх для промислових, професійних і побутових потреб.

Насправді, термін служби світлодіодного світлового приладу, заявляється виробниками (зазвичай від 25 000 до 50 000 годин) в деяких випадках не досягається. Або він виходить з ладу, або відчутно знижуються з плином часу світлові характеристики пристрою. Експлуатаційні характеристики (якість і кількість випромінюваного світла, терміну служби, стабільність кольору і інші параметри) тісно пов'язані з температурним режимом всередині світильника або світлодіодним лампочки, яка за формою є аналогом лампі розжарювання. Температурний параметр області, в якій встановлений світильник, безпосередньо впливає на розсівання теплової потужності кристала радіатором - охолоджувачем світлодіодного світильника.

Ще одним фактором, що робить негативний вплив на тривалий термін служби, є ринковий попит на мініатюризацію світлодіодної продукції. У деяких областях застосування світлотехнічних виробів є потреба у виготовленні невеликих розмірів світлодіодних світильників, в свою чергу простих в переміщенні і не сприяють перешкодою для виконання основної діяльності.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.	Варга С.Ю.						
Перевір.	Філюк Я.О.						
Консульт.							
Н. Контр.	Вакулєнко О.О.						
Затверд.	Тарасенко М.Г.						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		

З метою збереження форми звичних конструкцій джерел світла є і попит на заміщення аналогічних світлодіодних конструктивних рішень. Так само з цього випливає необхідність за пропозицією рішення розташування пуску-регулюючої апаратури в оболонці світлового пристрою, а в разі спрямованого освітлення - ще й лінзи.

Основним завданням пуску-регулюючої апаратури це випрямлення змінного струму з метою подачі необхідного живлення на СІД, а також для видачі світловим приладам максимально - можливих світлових параметрів.

Варто зазначити, що лише 20% потужності світлодіодного кристала направляється на світло, решту 80% виділяються в тепло. У разі, коли теплотворні елементи знаходяться в малому замкнутому просторі, відбувається швидке нагрівання і в результаті перегрів приладу. Діапазон максимальної температури працездатності світлодіода в залежності від параметрів світлодіода коливається в межах $110 \div 150$ С. Номінальна робоча температура, при якій кристал добре себе почуває, становить близько 85 С. Труднощі виникають при розробці світлодіодної продукції з метою компонування всіх компонентів в обмеженому просторі з урахуванням недопущення перевищення номінальних температурних параметрів продукту. Рішенням проблеми може послужити використання програмних середовищ моделювання для розрахунку тепломенеджмента світлодіодної продукції. Особливо ефективний цей прийом буде на всіх стадіях розробки проектної моделі пристрою.

Метою кваліфікаційної роботи є: вирішення проблеми регулювання теплових режимів і показати, як комп'ютерне теплове моделювання здатне допомогти в досягненні проектних цілей в частині надійності, розмірів, форми і експлуатаційних характеристик виробу ще на стадії проектування. Тим самим значно знижуючи фінансові та часові витрати на виконання проекту.

Основне завдання роботи полягає у визначенні та порівнянні температурного режиму роботи на реально існуючому світлодіодному світильнику за допомогою трьох різних підходів:

- 1) Формульний метод;
- 2) Фізичний експеримент;
- 3) Комп'ютерне моделювання.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз конструкції і теплових режимів сучасних світлодіодних світильниках

Як вже зазначалося вище, області використання світлодіодної техніки в нині різні. Причому застосовують їх, починаючи від стельового або декоративного освітлення офісу або житлового будинку до прожекторного освітлення стадіонів або фасадного освітлення великих торгових центрів і будівель. Тим самим зростає різноманітність застосовуваних світлодіодних світильників по своїй формі і світловій функціональності. Значне просування в проектуванні світлодіодної продукції, пристойно великої потужності світла випромінювання, дає можливість входження в область інтересів світлотехнічної продукції, тим самим натякаючи на повне витіснення з ринку звичних джерел світла.

Однак характеристики світлодіодів (СД) безпосередньо залежать від умов експлуатації та температури навколишнього повітря в області, де вони встановлені. В наслідок підвищення температури кристала світлодіода вище номінальної відбувається зниження світових параметрів СД і деградація кристала. Тим самим термін роботи світлодіодів різко знижується. Тому конструкція світловипромінюючого приладу повинна бути оптимізована з точки зору мінімізації температури кристала. Це питання в світлодіодному світі є одним з найважливіших.

Шлях проходження тепла від кристала світлодіода в навколишнє середовище має послідовність, представлену на рисунках 1.1 і 1.2. Тепло починає своє поширення від кристала до сполучної речовини, електроду, припою, плати, корпус - радіатор в навколишнє середовище. Тепло проходить через безліч теплових опорів матеріалів на шляху «кристал - навколишнє середовище». Це і є

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ					
Розроб.	Варга С.Ю.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Філюк Я.О.									
Консулт.										
Н. Контр.	Вакуленко О.О.									
Затверд.	Тарасенко М.Г.									
					ТНТУ, гр.ЕТс-41					

істотним недоліком конструктиву світлодіодних світильників. При проектуванні і розробці світлодіодної продукції намагаються мінімізувати сумарне теплове опір.

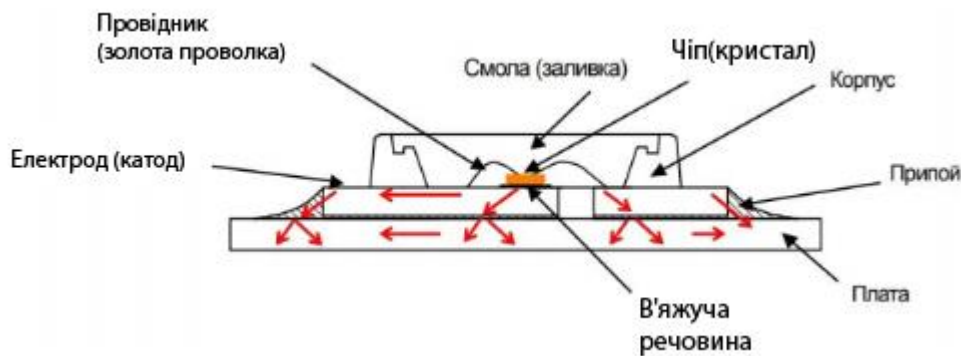


Рисунок 1.1 - Шлях поширення тепла в по структурі світло-випромінюючого діода.

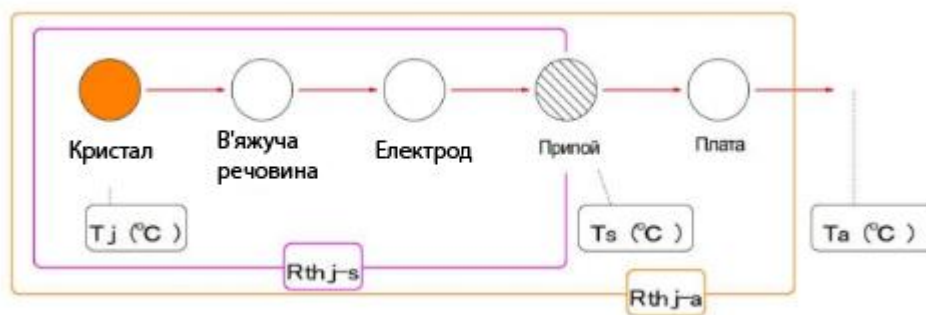


Рисунок 1.2 - Схема послідовності процесу поширення тепла

Поряд з широко відомими традиційними матеріалами для виготовлення друкованих плат використовуються комбіновані структури MC PCB (Metal CorePCB). Комбінована структура MC PCB - це структура, що складається з тепловідводної підстави (0,5 - 3,2 мм), наприклад з алюмінію, міді або їх сплавів, на якому розташований теплопровідний діелектричний шар з високою електричною міцністю (17 - 150 мкм), ламінований, наприклад, мідної фольгою (35 - 350 мкм). Важливу роль має і власне теплове опір СІД. В залежно від застосування технологічних процесів при виготовленні матеріалів власне тепловий опір світло-випромінювальних діодів коливається від 4 К/Вт до 20 К/Вт.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з не гладкою поверхнею радіаторів охолодження виникає бар'єр для проходження тепла в складальному елементі друкована плата - корпус. В такому місці необхідно усунення пустотілих місць застосуванням теплопродящих термопаст або суміжних матеріалів.

Найбільш часто зустрічаються світлодіодні світильники, спроектовані з ребристими радіаторами, тепловий режим, якого досить простий в розрахунку. Однак таке рішення не дозволяє оцінити конструктивні рішення охолоджувача з точки зору обтікання повітряними конвективними потоками. А також немає можливості оцінити повітряні застої і взаємо зв'язок між теплопровідними властивостями вибраних матеріалів при розподілі теплової потужності. Цю задачу дозволяють вирішити засоби автоматизованого проектування ще на стадії розробки світлодіодного світильника.

Значною незручністю світловипромінюючої техніки є пристойні розміри, що створює широкі можливості для необхідності застосування менш громіздких світлових пристроїв. Вирішенням цієї проблеми є застосування методів примусового повітряного охолодження і рідинного охолодження світлодіодної техніки:

а) рідинни охолодження. Таке рішення для охолодження доцільно застосовувати для світлодіодної продукції потужністю перевищує 100 і вище Ватт;

б) примусове повітряне охолодження. Таке рішення для світлодіодної продукції, потужність яких лежить в інтервалі від 60 до 100 Ватт.

1.2 Примусове охолодження повітряним потоком

Рисунок 1.3 демонструє модель примусового охолодження повітряним потоком СІД. Ідеєю такого методу є підключення вентилятора охолодження через що зчитується температуру світлодіода пристрою для регулювання швидкості обертання вентилятора. Умовою коректної роботи пристрою є розташування

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тепло реєструючих пристрої поблизу тепло виділяючого пристрою, тобто кристал світлодіода.

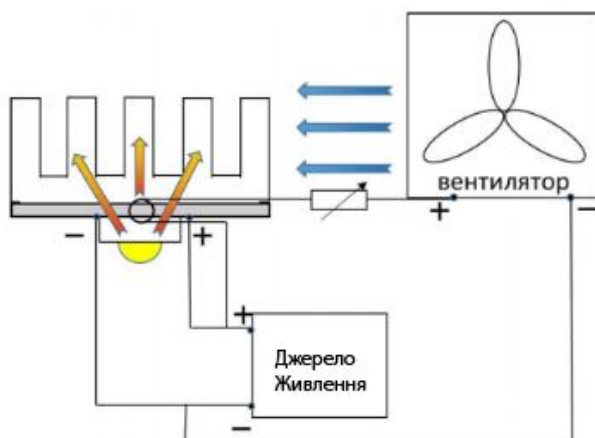


Рисунок 1.3 - Модель примусового охолодження повітряним потоком

Робота схеми полягає в простій послідовності. При нагріванні кристала світлодіода вище встановленої температури збільшується швидкість обдування вентилятором. Як вже зазначалося вище, швидкість охолоджуючого пристрою залежить від показань температурного датчика. Така схема є найбільш простий з існуючих прийомів охолодження.

Однак у такої системи є і свої суттєві недоліки. З часом вентилятор забруднюється, а також відбувається знос підшипника, що веде до виходу з ладу системи примусового охолодження і наслідком перегріву ідеградації кристала світлодіода. Також застосування такої системи веде до подорожчання виробі.

1.3 Примусове охолодження рідинним елементом

При високій питомій потужності понад 100 Ватт повітряне охолодження втрачає свою ефективність. Таким чином, доцільно застосовувати примусове охолодження рідинним елементом. Спосіб відведення тепла полягає до передачі його від нагрівається елемента рідини в результаті їх контакту. Причому примусове рідинне охолодження повинно мати циркуляцію охолоджуючої рідини.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така система дозволяє відводити на порядок вище тепла при порівнянні з примусовим повітряним охолодженням. Тим самим дозволяючи робити світлодіодні пристрої менших розмірів при значній потужності. Схема примусового рідинного охолодження представлена на рисунку 1.4.

Модель примусової системи рідинного охолодження має в своєму складі: циркуляційний насос (помпу), теплообмінник, радіатор, резервуар і з'єднують всі ці частини, гнучкі шланги.

Однак при застосуванні такого методу охолодження СІД вартість готового світильника може в 10 разів перевершити вартість використання методу природного повітряного охолодження. До того ж надійність застосування рідинного охолодження світлодіодних пристроїв залишає бажати кращого.

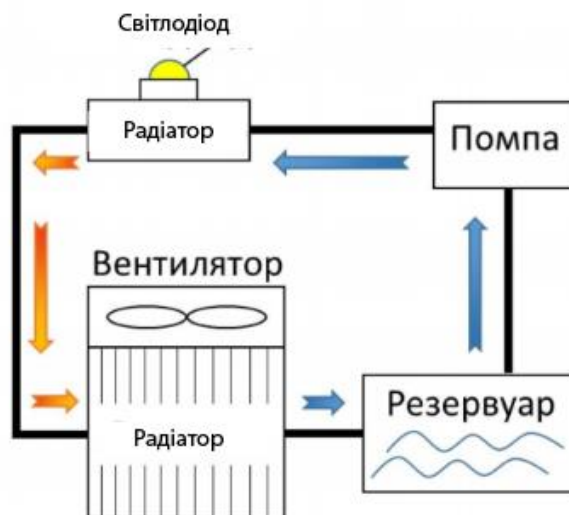


Рисунок 1.4 - Примусове охолодження рідинним елементом

1.4 Природне повітряне охолодження

Пасивне охолодження - найбільш поширений метод охолодження, застосовуваний при проектуванні і виробництві напівпровідникових світловипромінюючих пристроїв. Пасивне охолодження в результаті залежить від корпусу-охолоджувача, матеріали, для виготовлення якого мають високий параметр теплопровідності. Так, значення теплою провідності мідного матеріалу порядку 390. Це, безсумнівно, є хорошим показником. Однак алюміній має кілька

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваг у порівнянні з вищео писаним матеріалом. Його питома вага в 3 рази менше і вартість в 5 разів дешевше. Алюміній в свою чергу має значення теплової провідності порядку 210. Варто відзначити, що питома вага для світлодіодної продукції, особливо для високо потужних промислових світильників є одним з ключових при розробці.

Корпус - охолоджувач в потужних світлодіодних світильниках служить для відведення теплової потужності в оточення від напівпровідникового кристала СІД. Даний відведення тепла ґрунтується на ефекті мимовільного розсіювання тепла в навколишньому повітрі. Ключовим параметром корпусу - охолоджувача є площа всієї охолоджуючої конструкції. ККД такого охолоджувача тим більше, чим більше площа природної конвекції. У місці з'єднання з друкованою платою охолоджувач повинен мати менш шорстку поверхню у наслідок гарної теплопередачі.

Відомий не один зі способів виготовлення корпусів - охолоджувачів для світлодіодної продукції. Найбільш затребуваними і повсюдними є екструзійний, литтєвий методи, а також метод штампування. Розробка світлодіодної продукції є не легким завданням, так як при проектуванні потрібно облік різних показників і параметрів. Зокрема технологічної фінансової точок зору.

1.4.1 Корпуси - охолоджувачі, отримані методом лиття

«Литі радіатори виготовляються методом лиття під тиском розплавленого металу в кокіль»[4]. Головним плюсом виготовлених охолоджувачів таким методом це відсутність подальших вторинних оброблювальні операцій. Таким чином, використовуючи такий технологічний процес виготовлення охолоджувача, є можливість отримання відразу готового виробу з уже спроектованими отворами, фасками, округленнями, пазами і т.п. (Рисунок 1.5).

Одним з недоліків такого методу є порівняно найменша теплопровідна здатність. Це пов'язано з технологічним процесом даного методу, а саме утворення пористої структури за рахунок охолодження виробу в матричній структурі.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 - Корпус - радіатор виготовлений литтям під тиском

Ще одним з недоліків такого методу, також як і при методі штампування, значні витрати на оснащення. Таким чином, для виготовлення серійних світильників різних потужностей буде потрібно декілька ливарних форм.

1.4.2 Радіатори отримані методом екструзії

Корпуси - охолоджувачі, вироблені методом екструзії, є частіше всіх зустрічаються повсюдно. «Екструзія - технологія отримання виробів шляхом продавлювання в'язкого розплаву матеріалу або густої пасти через формує отвір»[4]. Різного роду сплави склади алюмінію є основою при виготовленні корпусів-охолоджувачів. Перевагою такого методу є можливість виготовлення радіаторів з різними формами ребристості, що в свою чергу дозволяє домогтися більш ефективного тепловідведення. Наприклад, радіатор світильника взятого для дослідження в даного дипломного проектування якраз виготовлений даним методом (Рисунок 1.6).

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

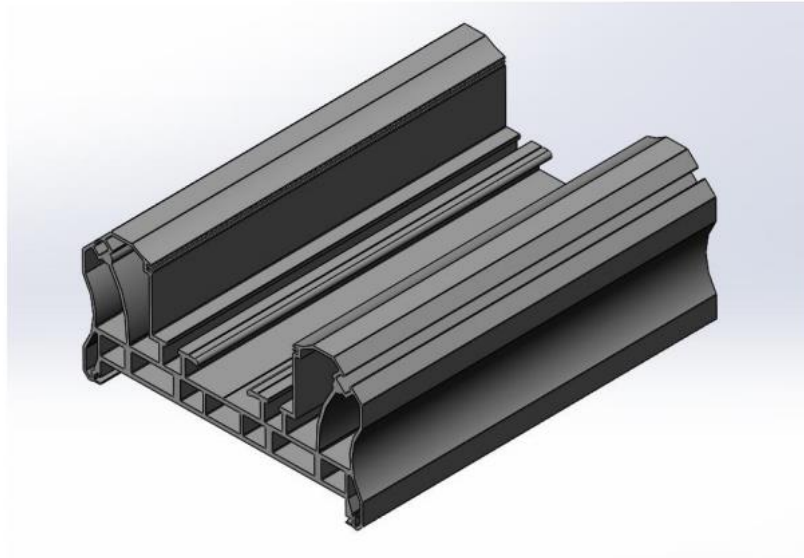


Рисунок 1.6 - Корпус - радіатор досліджуваного світильника, отриманий способом екструзії

Головний мінус способу виробництва такого охолоджувача, це лінійна властивість. У разі такого методу отримання радіатора відбувається видавлювання маси матеріалу з єдиної осьової лінії. Тим самим виникає необхідність проведення вторинних оброблювальні операцій.

Позитивною стороною екструзійного способу виготовлення радіатора є зняття обмежень довжини можливого охолоджувача. Така перевага дає можливість виготовлення радіаторів розрахованих на різні теплові потужності, змінюючи лише його довжину. Тим самим значно знижуються капітальні витрати в порівнянні з іншими способами виготовлення радіаторів.

1.5 Сучасні рішення відводу теплової потужності від високопотужних СД

«В абсолютній більшості сучасних світлодіодних конструкцій реалізована компоновка за правилом «кристал: спереду скло, ззаду радіатор». Така компоновка себе повністю виправдовувала для попереднього покоління малопотужних LED. Для сучасних високопотужних LED - кластерів такого підходу до охолодження виявилось явно недостатньо. Ситуацію вдалося частково вирішити за рахунок переходу на металеві друковані плати (Metal Core

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PrintedCircuit Board). Тепло «розганялися» по всій поверхні цих плат, збільшувалася площа, на якій можна було б розмістити додаткові радіатори. але і можливості цього рішення з - за стрімкого зростання питомих генеруючих потужностей фактично вже вичерпані »[3].

«Критичний аналіз існуючих підходів до проектування систем охолодження світильників і інших тепловиділяючих електронних пристроїв дозволив знайти невикористовувані до теперішнього часу резерви у відведенні тепла: це так звані фронтальні і транзитні схеми відведення тепла. Обидві вони призначені для інтенсифікації відводу тепла з лицьової, в сторону друкованих плат, на яких і змонтовані світлодіоди »[3].

1.5.1 Фронтальне охолодження

«Нагадаємо, що під цим терміном мається на увазі відведення тепла за допомогою спеціально сконструйованих радіаторів охолодження, що розташовуються на фронтальній стороні МС РСВ (рисунок 1.7) »[3].

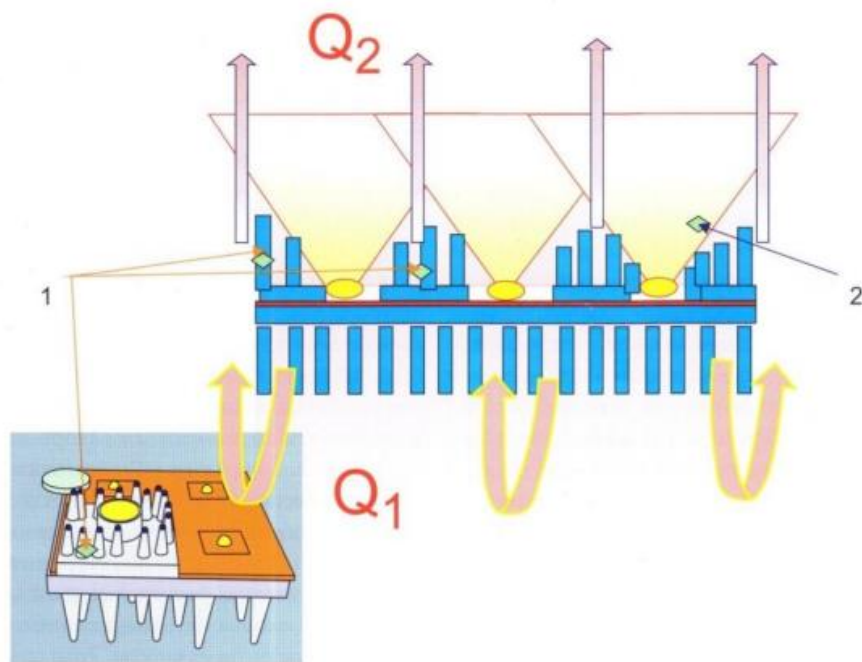


Рисунок 1.7 - Розміщення радіаторів на фронтальній стороні МС РСВ

Крім виконання тепловідводної ролі, такі радіатори можуть служити держателями для вторинної оптики світлового приладу (рисунок 1.8). Вторинна

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптика грає роль фокусування, розсіювання світлових променів. також таке конструктивне рішення дозволяє застосовувати різну вторинну лінзу різну для кожного СІД, що в кінцевому підсумку дає можливість створення гнучкого контролю світлових випромінювань. В результаті може бути отримана така форма КСС, створення якої в стандартних світлових приладах викличе пристойні додаткові витрати.

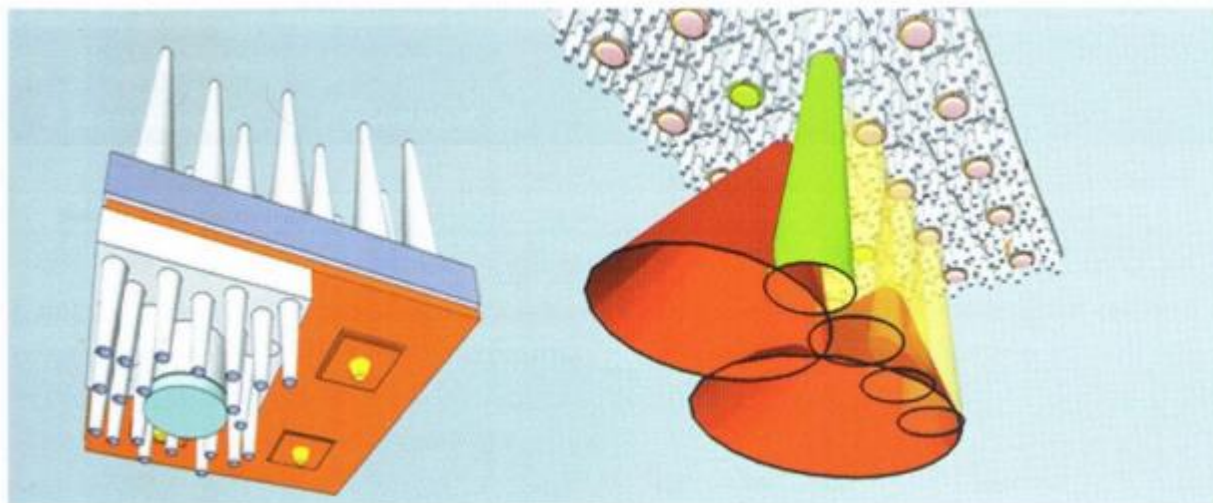


Рисунок 1.8 - Особові охолоджувачі в якості власника вторинної оптики

1.5.2 Охолодження за допомогою наскрізного переносу теплових мас

Залежно від розміщення світлового приладу щодо горизонталі за кутом, змінюється обхватування охолоджувача повітряними потоками внаслідок різних параметрів аеродинаміки. Так, відмінність інтенсивності обтікання повітряними потоками при розташуванні світлового приладу вертикально має різницю в півтора рази в порівнянні з горизонтальним розташуванням.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

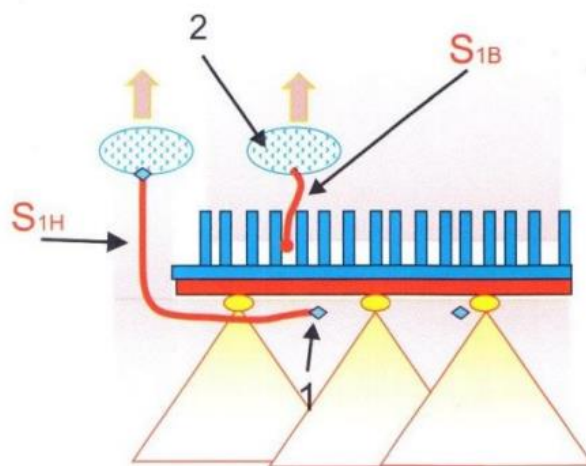


Рисунок 1.9 - Горизонтальна орієнтація плати

У разі стандартної конструкції світлодіодного модуля, потоку повітря, який забирає тепло в ближній крапці напівпровідникових приладів необхідно долати більш далеку відстань S_{1H} при порівнянні з тривалості шляху S_{1B} , що в свою чергу знижує ККД теплового взаємообміну з навколишніми масами повітря.

Для підвищення ефективності теплорозсіювання є можливість створення групи наскрізних отворів в світлодіодному модулі з метою проходження повітряних теплових мас коротшим шляхом S_2 (рисунок 1.10).

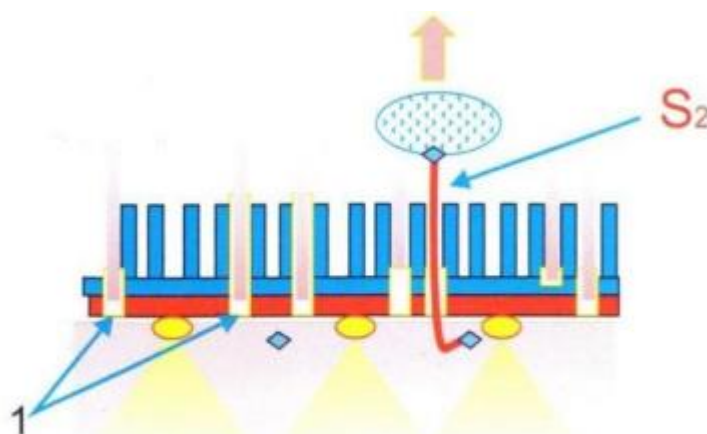


Рисунок 1.10 - Варіант відведення тепла

Для цього на тильній поверхні друкованої плати розміщують радіатори спеціальної форми з наскрізними отворами для без перешкодного проходу

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(Транзиту) гарячого повітря вгору. За рахунок цього скорочується шлях S_2 до області змішання з холодним повітрям і, відповідно, інтенсифікується теплообмін. Місця розташування на МС РСВ цих транзитних радіаторів залежать від конкретної топології змонтованого на ній електронного пристрою (отворине повинні перетинатися з друкованими доріжками).

Транзитні радіатори (рисунок 1.11) можуть мати в конструкції пари співвісних елементів: нижнього сопла 1, забирає нижній тепле повітря, і верхньої частини 2, що представляє собою радіатор 3 з розгорнутою поверхнею і отвором посередині.

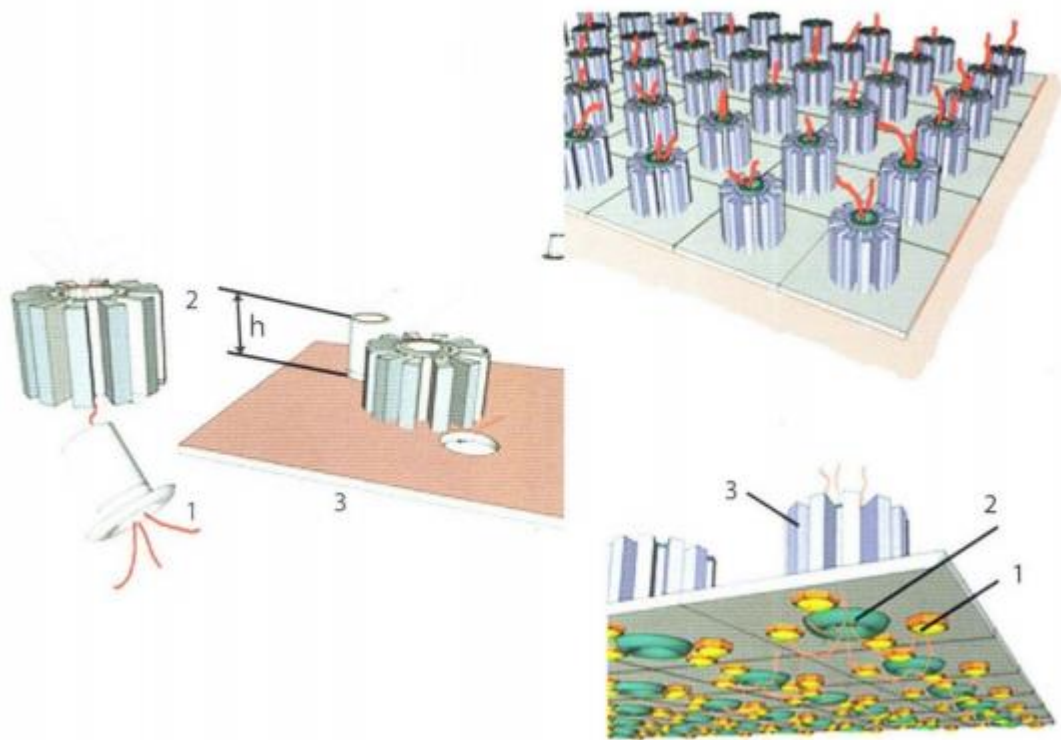


Рисунок 1.11 - Транзитний радіатор

Особливістю такої конструктивної елементної базю є посилення потоку повітряних мас за рахунок висотного параметра h , що створює явище витягування повітря. Цікаво, чому структурний скорочення висотного параметра до товщини охолоджуючої плати МС РСВ радіатор морфологічно перетвориться в отвір крізь цю плату.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Висновки до розділу

Значимість освітлення світлодіодним технікою повсюдно є ключовим трендом і завданням повсюдно з метою збереження навколишнього середовища.

В результаті проаналізованої інформації зроблено висновок, що не дивлячись на свою високу ефективність дослідження теплового режиму світлодіодних світильників це важливе завдання для забезпечення тривалої роботи світлового приладу.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Складання теплової схеми заміщення і тепловий розрахунок одиничного світлодіода

Перш ніж переходити до аналізу теплового режиму складної конструкції був проведений розрахунок одиничного світлодіода, на паяти на плату, а також має охолоджувач. Конструкція так званої бобишки, представлена на рисунках 2.1 і 2.2.

Технічні характеристики, представлені нижче:

- 1) Світлодіод потужністю 0,5 Вт;
- 2) Струм 175 мА;
- 3) Падіння напруги 3 В;
- 4) Матеріал охолоджувача - алюміній;
- 5) Плата, основа якої - алюміній.

Згадаймо, що в світлі йде лише 20% потужності світлодіода, що залишаються 80% потужності - тепла.

Провівши, розрахунок за вихідними даними отримаємо потужність, що йде на нагрів, яка складе 0,4 Вт. У розрахунках будемо використовувати саме цю потужність.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Варга С.Ю.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.					
Консульт.					ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ <i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Н. Контр.		Вакуленко О.О.					
Затверд.		Тарасенко М.Г.					



Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд одиничного світлодіода з платою



Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд охолоджувача

Розрахунок температурного параметра р-п переходу кристала світлодіода формульним методом починається з побудови схеми заміщення. Така схема є опис усіх частин світлодіодного приладу сукупністю пов'язаних однорідних тіл. Теплова схема заміщення для досліджуваного одиничного світлодіода представлена на рисунку 2.3.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

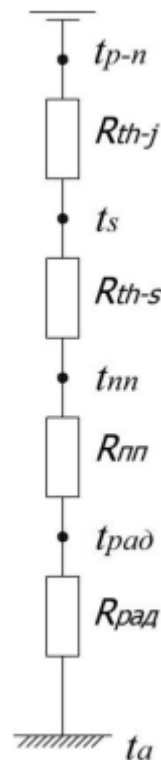


Рисунок 2.3 - Теплова схема заміщення розраховується одиничного світлодіода

Досліджуваний світлодіод зроблений компанією Edison Opto. З DataSheet [1] на світлодіод Edison Opto форм фактора 28x35мм, встановлений на даному пристрої, відомо тепловий опір $R_{th-j} = 6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ - «кристал - корпус», а також тепловий опір $R_{th-s} = 20 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ - «корпус - точка пайки».

Для визначення теплового опору R решти ділянок напівпровідникового пристрою скористаємося формулою (2.1), представленої нижче:

$$R = \frac{\delta}{\lambda \cdot S} \quad (2.1)$$

Де δ - товщина матеріалу, через який проходить тепловий потік;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

S - поверхня, через яку проходить тепловий потік.

Знайдемо тепловий опір друкованої плати. Варто відзначити, що в даному світильнику застосована друкована плата форм фактора Metal Core PCB, що складається з трьох шарів:

1) Діелектрик (100 мкм);

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Мідна фольга (35 мкм);

3) Алюмінієве підставу (2 мм).

Разом, при розрахунку сумарного теплового опору друкованої плати необхідно розрахувати кожен шар і в подальшому виконати додавання результатів:

$$R_{nn} = R_{diel} + R_{midi} + R_{Al} \quad (2.2)$$

Розрахунок діелектричного шару представлений нижче, використовуючи формулу 2.1:

$$R_{diel} = \frac{\delta_{diel}}{\lambda_{diel} \cdot S_{diel}} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{0,24 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 1,6 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.3)$$

Далі зробимо розрахунок теплового опору мідної фольги:

$$R_{midi} = \frac{\delta_{midi}}{\lambda_{midi} \cdot S_{midi}} = \frac{35 \cdot 10^{-6}}{390 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2} = 0,007 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.4)$$

Наступним етапом є розрахунок теплового опору алюмінієвого шару:

$$R_{Al} = \frac{\delta_{Al}}{\lambda_{Al} \cdot S_{Al}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 0,037 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.5)$$

Вважаємо сумарний опір за формулою 2.2:

$$R_{nn} = 1,6 + 0,007 + 0,037 = 1,644 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.6)$$

Для виконання розрахунку теплового опору $R_{рад}$ необхідно умовно розділити тепловідвідний радіатор на дві частини $R_{1рад}$ і $R_{2рад}$:

$$R_{рад} = R_{рад1} + R_{рад2} \quad (2.7)$$

Розрахунок теплового опору першої ділянки представлений нижче:

$$R_{рад1} = \frac{\delta_{рад1}}{\lambda_{рад1} \cdot S_{рад1}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 0,09 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.8)$$

Далі розрахунок теплового опору другої ділянки:

$$R_{рад2} = \frac{\delta_{рад2}}{\lambda_{рад2} \cdot S_{рад2}} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2} = 0,75 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.9)$$

Сумарний опір радіатора розрахуємо за формулою 2.7:

$$R_{рад} = 0,09 + 0,75 = 0,84 \text{ } ^\circ C / Bm \quad (2.10)$$

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсумковим дією в підрахунку загального теплового опору світлодіодного світильника є алгебраїчна сума всіх раніше відомих:

$$R_{\Sigma} = R_{rad} + R_{th-j} + R_{th-s} + R_{nm} = 6 + 20 + 1,644 + 0,84 = 28,484 \text{ } ^{\circ}\text{C} / \text{Вт} \quad (2.11)$$

Для обчислення температура рп переходу скористаємося формулою 2.12, представленої нижче:

$$t_{p-n} = t_a + R_{\Sigma} \cdot P \quad (2.12)$$

де t_a - температура навколишнього середовища;

R - сумарний тепловий опір «кристал - навколишнє середовище»;

P - потужність одного світлодіода.

Для розрахунку температури кристала необхідно задатися температурою довкілля. Домовимося, що температура навколишнього середовища дорівнює «+22 °С». Підставами відомі значення в формулу 2.12 і отримаємо:

$$t_{p-n} = 22 + 28,5 \cdot 0,5 = 36,25 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Для порівняння та аналізу з подальшими методами визначення температури кристала необхідно розрахувати також температуру в точці пайку світлодіода. В такому виключаємо з R_{Σ} теплові опори R_{nm} і R_{rad} . Таким чином сумарне теплове опір стане одно:

$$R_{\Sigma 2} = R_{th-j} + R_{th-s} = 6 + 20 = 26 \text{ } ^{\circ}\text{C} / \text{Вт} \quad (2.13)$$

Таким чином, температура в точці пайку t_s вийде:

$$t_s = t_a + R_{\Sigma 2} \cdot P = 22 + 26 \cdot 0,5 = 35 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (2.14)$$

2.2 Експериментальне дослідження температури нагріву одиничного світлодіода

Наступним етапом є проведення натурного експерименту. Для проведення експерименту було використано тепловізійного обладнання. Попередньо зробимо вимір температури навколишнього повітря цим же приладом. Вона склала +22 °С. Подача харчування одиничного світлодіода здійснювалося від стороннього

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела, так як в цьому пристрої відсутня пуску - регулююча апаратура. Також необхідно відзначити, що завмер необхідно робити після того, як вимірюється світловий пристрій попрацює деякий час для досягнення своєї робочої температури. Результати вимірювань представлені на малюнках нижче:

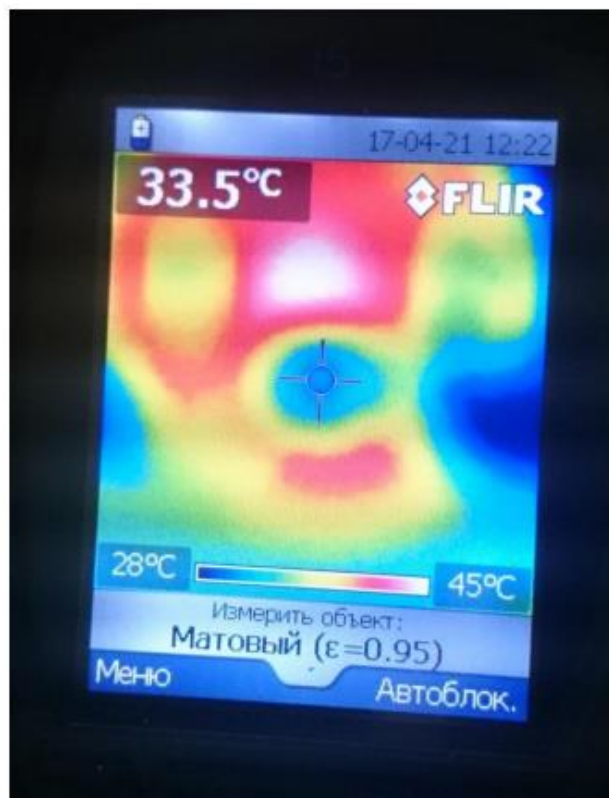


Рисунок 2.4 - Температура в умовній точці пайки світлодіода

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 - Температура в найближчій частині охолоджувача до світлодіоду



Рисунок 2.6 - Температура в середній частині охолоджувача

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 - Температура в кінцевій точці охолоджувача

2.3 Комп'ютерне моделювання теплових процесів, що протікають в одиничному світлодіоді в програмному середовищі Solidworks Simulation

Хотілося б відзначити перевагу моделювання протікають процесів в спеціалізованих програмах. Це дозволяє вивчити і запобігти помилкам на етапі проектування пристрою без виготовлення дослідних зразків, що істотно скорочує витрати фірми - виробника.

Вихідні дані були задані в початкові умови і параметри досліджуваної геометричній моделі в спеціальній області програмного продукту, представленій на малюнку 2.8.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

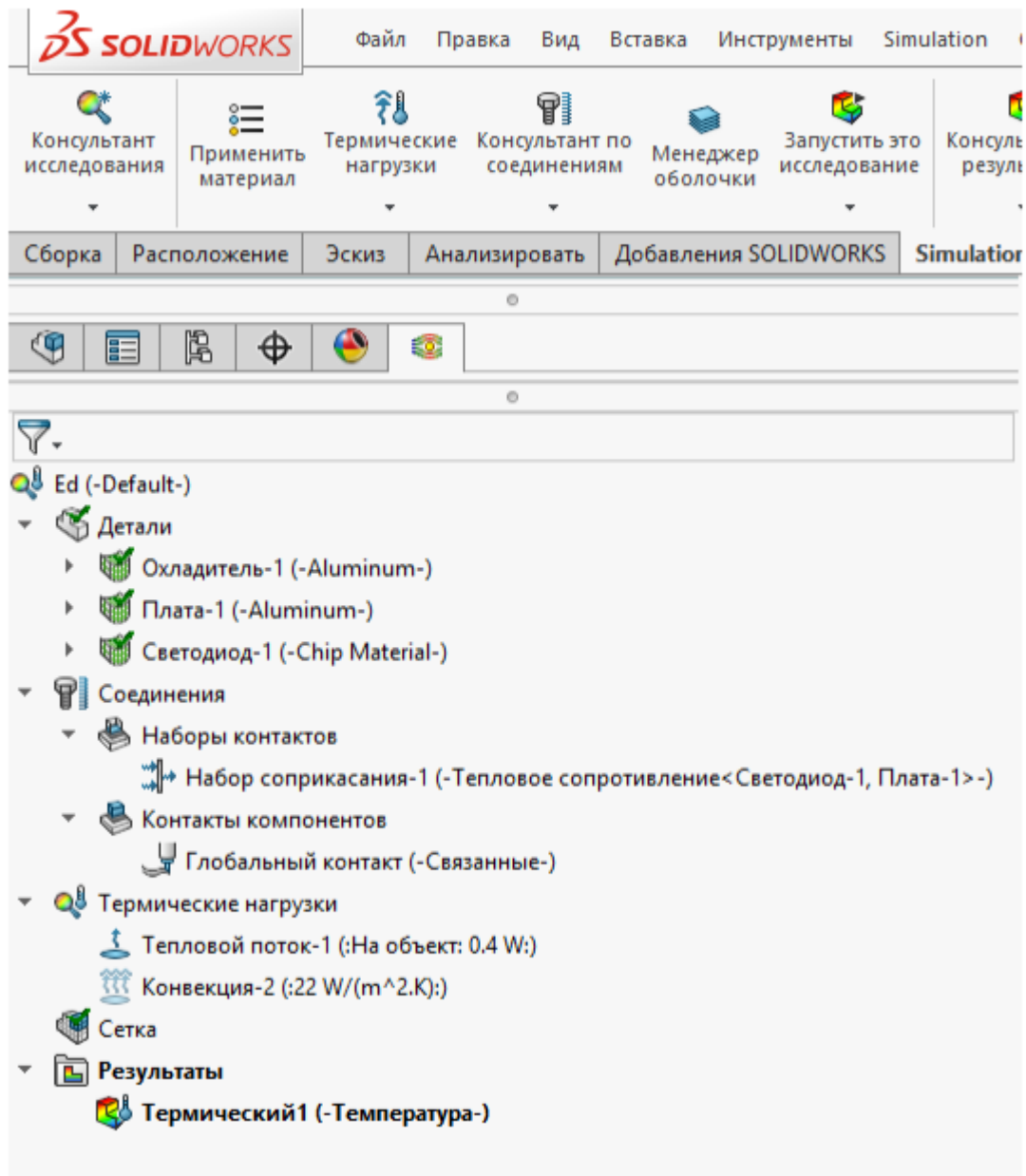


Рисунок 2.9 - Вихідні дані і початкові умови

У розділі «Деталі» кожної спроектованої деталі задається матеріал. В властивості матеріалу для теплового розрахунку обов'язковою умовою є вказівка наступних параметрів, зазначених нижче:

- а) масова щільність;
- б) теплопровідність;
- в) питома теплоємність.

Приклад завдань параметрів алюмінію показаний на рисунку 2.10.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

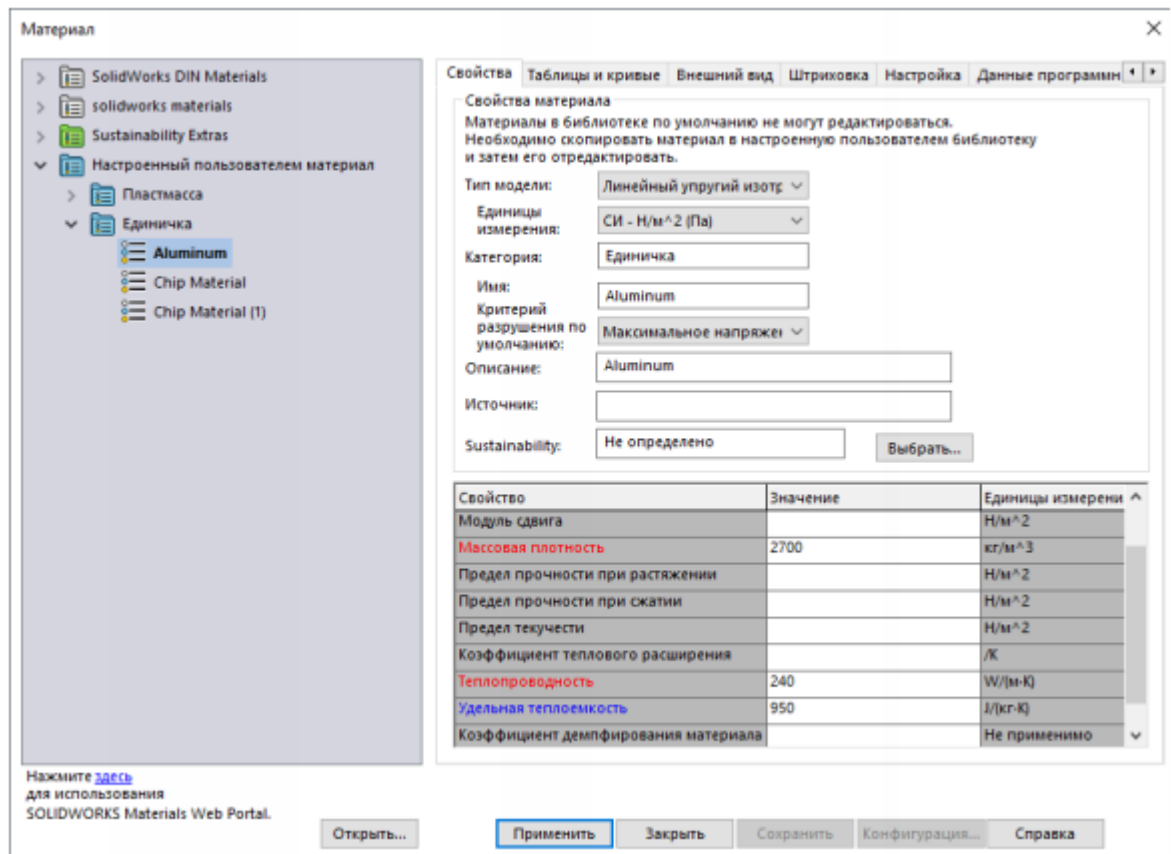


Рисунок 2.10 - Приклад завдання параметрів алюмінію

У розділі «З'єднання» вказується зв'язок деталей між собою із зазначенням теплового опору.

У розділі «Термічні навантаження» задається теплова потужність виділяється світлодіодом, а також конвективна тепловіддача. Значення тепловіддачі для гладкої поверхні алюмінію за довідковими даними становить 22 Вт/м²·К. У середині під меню цього ж параметра задається і температура навколишнього середовища.

У розділі «Сітка» математична модель ділиться на частини для проведення розрахунків програмою системою рівнянь для вирішення головного рівняння.

У розділі «Результати» відбувається аналіз вирішеною термічної завдання, способом побудови термічних епюр, зондування та інших.

Після завдання всіх необхідних параметрів проведений термічний розрахунок, результати якого представлені нижче.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

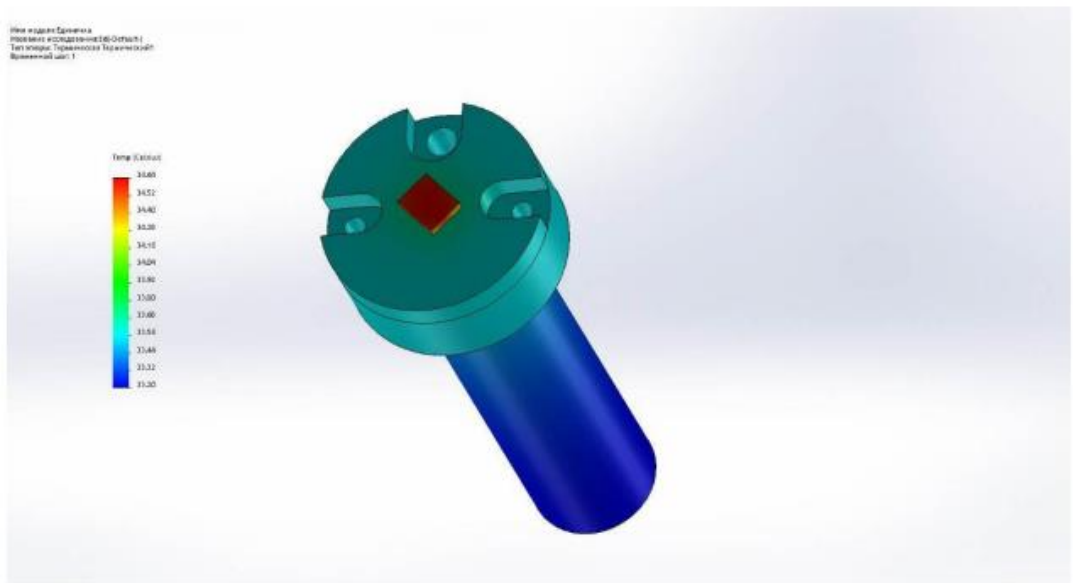


Рисунок 2.11 - Результати комп'ютерного моделювання

Для більш детального розгляду температури одиничного світлодіода була побудована термічна епюра, що показує розподіл температури в світловипромінюючих пристрої.

Також для визначення температури була проведена операція «Зондування» для визначення температури в конкретних точках пристрою.

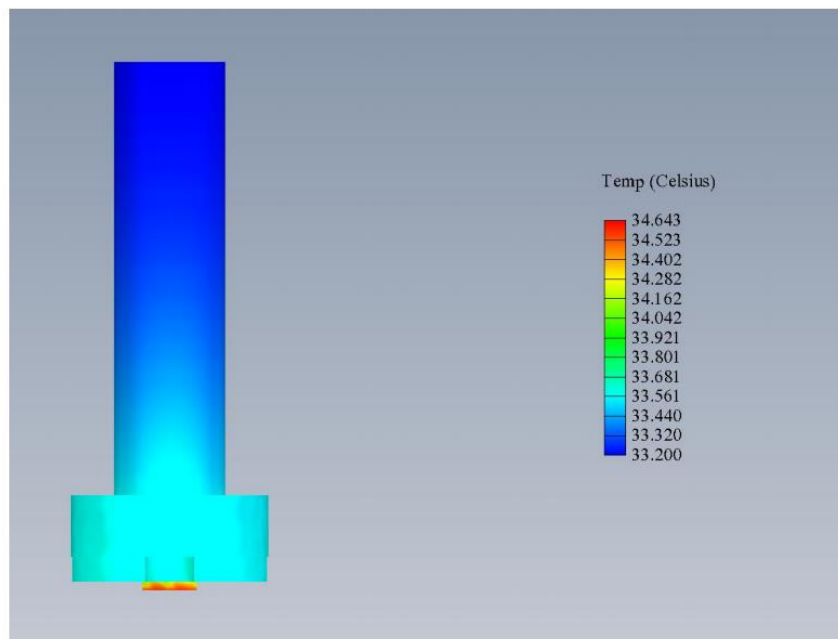


Рисунок 2.12 - Термічна епюра розподілу тепла світловипромінюючого приладу

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

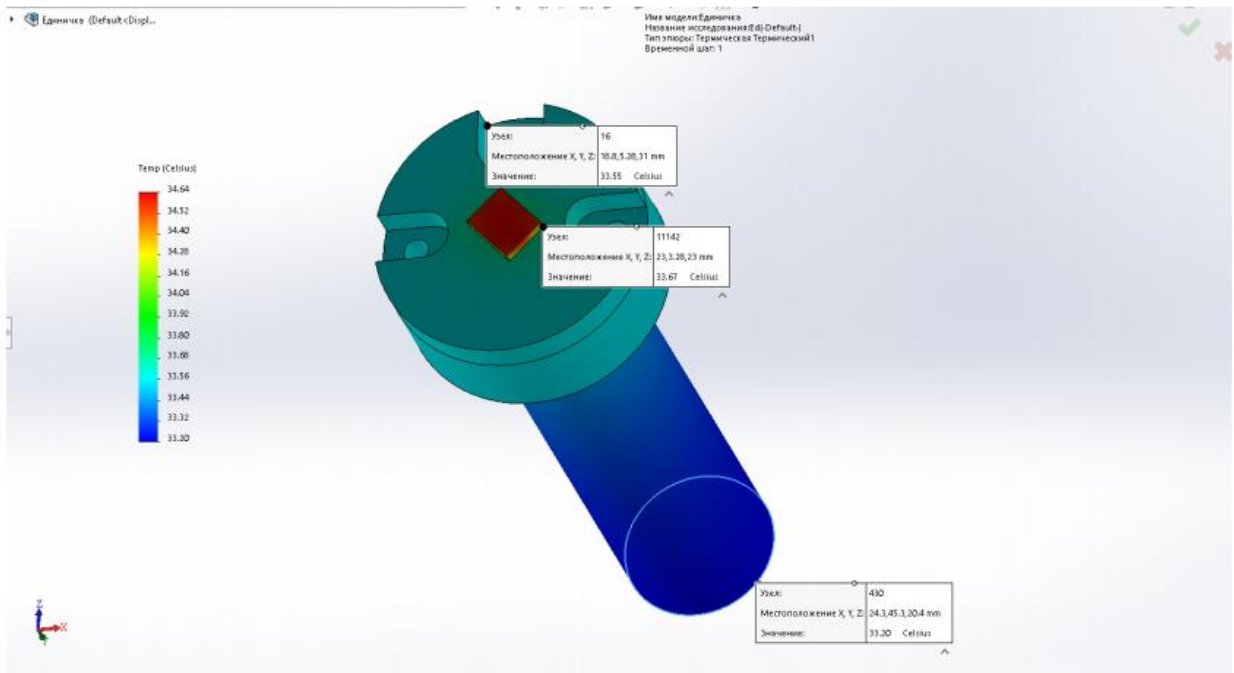


Рисунок 2.13 - Результат «зондування»

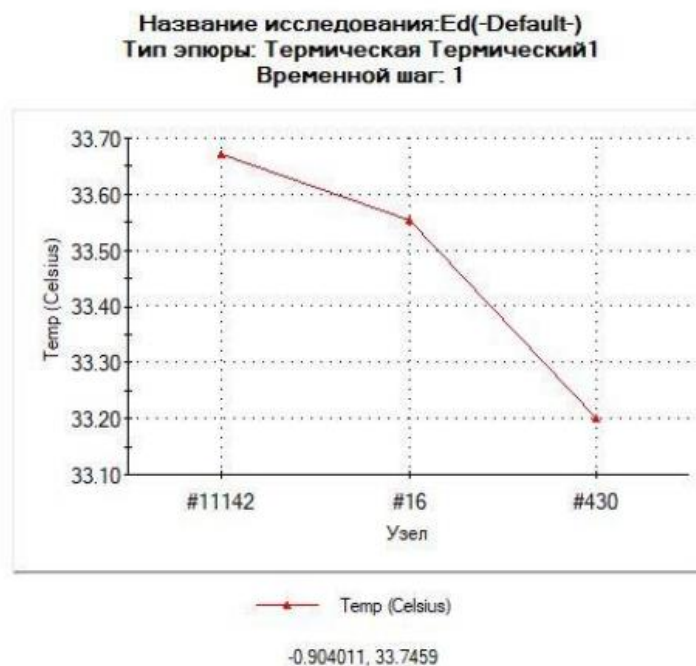


Рисунок 2.14 - Графік температури пристрою

Верхня точка графіка відповідає точці на рисунку 2.14 в умовної точки пайки світлодіода.

Середня точка графіка відповідає температурі в точці між платою і охолоджувачем з рисунка 2.14.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижня точка графіка відповідає температурі в найдальшій точці охолоджувача від світлодіода з рисунка 2.14.

2.4 Аналіз руху теплового потоку

Рухи теплового потоку, необхідного для аналізу замикання повітря, що перешкоджає ефективному охолодженню, проаналізовано математичним моделюванням процесів, що протікають в програмному продукті Solidworks FlowSimulation. Результати моделювання представлені на рисунку 2.15

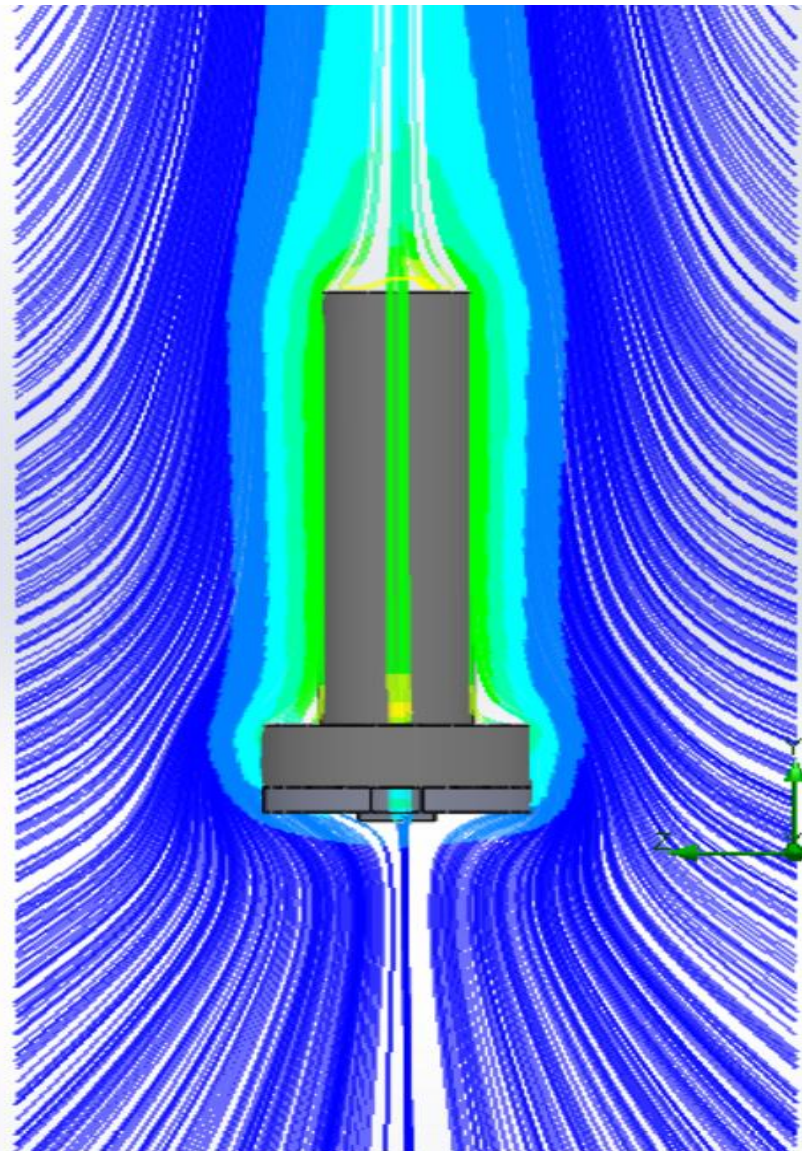


Рисунок 2.15 - Рух теплового потоку одиничного світлодіода

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Висновки до розділу

1. Аналізуючи виконану роботу, можна зробити висновок, що результати розрахунку, вимірювання і моделювання мають різницю в 1-2 градуси за Цельсієм, що говорить про правильність проведеного моделювання.

2. Варто відзначити витрачений час на виконання виконаної роботи за окремими пунктами дослідження. Звичайно, метод вимірювання тепловізером є лідером, але варто відзначити, що для проведення виміру необхідно виготовлення дослідного зразка світлодіодного пристрою, що в свою чергу несе додаткові фінансові витрати.

3. У порівнянні формульного методу і комп'ютерного моделювання зроблено висновок, що витрачений час моделювання вдвічі менше часу, витраченого на розрахунок.

4. Наступний етап це проведення теплового розрахунку безпосередньо світлодіодного світильника.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис технічних параметрів світлодіодного світильника, обраного для дослідження

Для проведення дослідження теплового режиму електронного пристрою був обраний промисловий світлодіодний світильник «Титан», потужністю 55Вт.

Зовнішній вигляд пристрою представлений на малюнках нижче.



Рисунок 3.1 - Ізометричний вид

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Варга С.Ю.						
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консульт.								
Н. Контр.		Вакуленко О.О.				ТНТУ, гр.ЕТс-41		
Затверд.		Тарасенко М.Г.						



Рисунок 3.2- Вид з боку плат

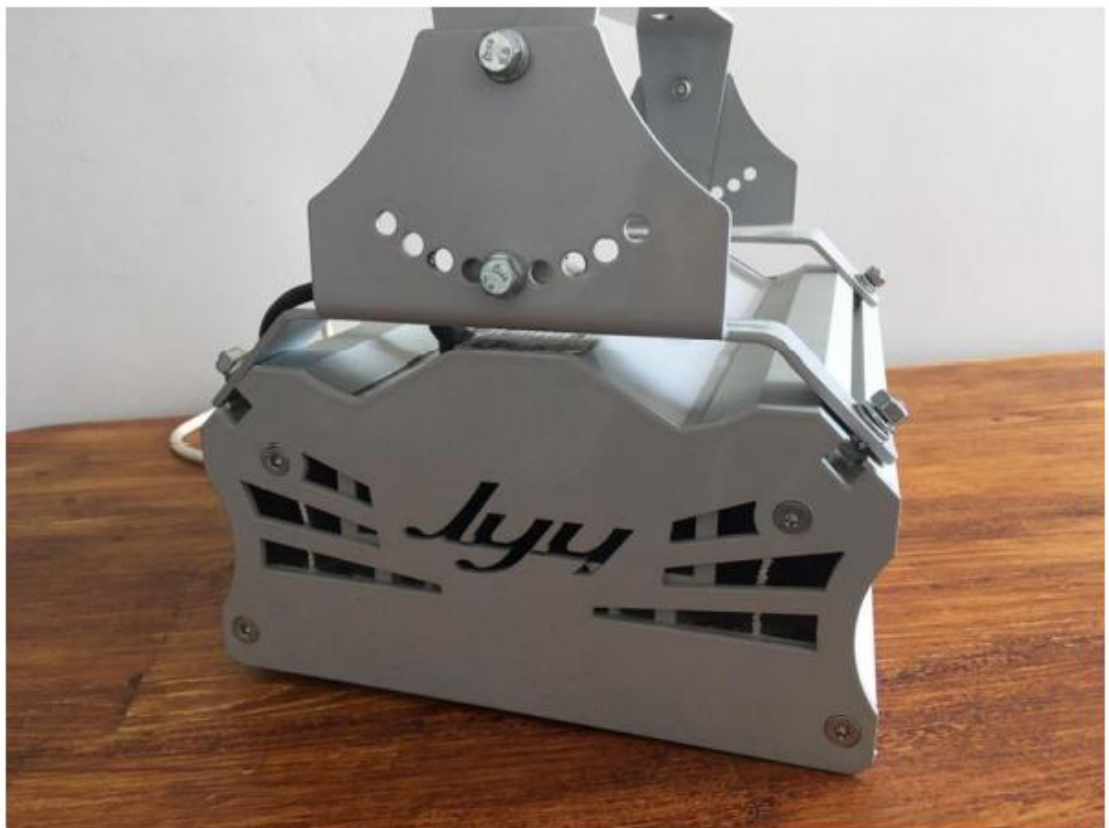


Рисунок 3.3 - Вид з торця

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

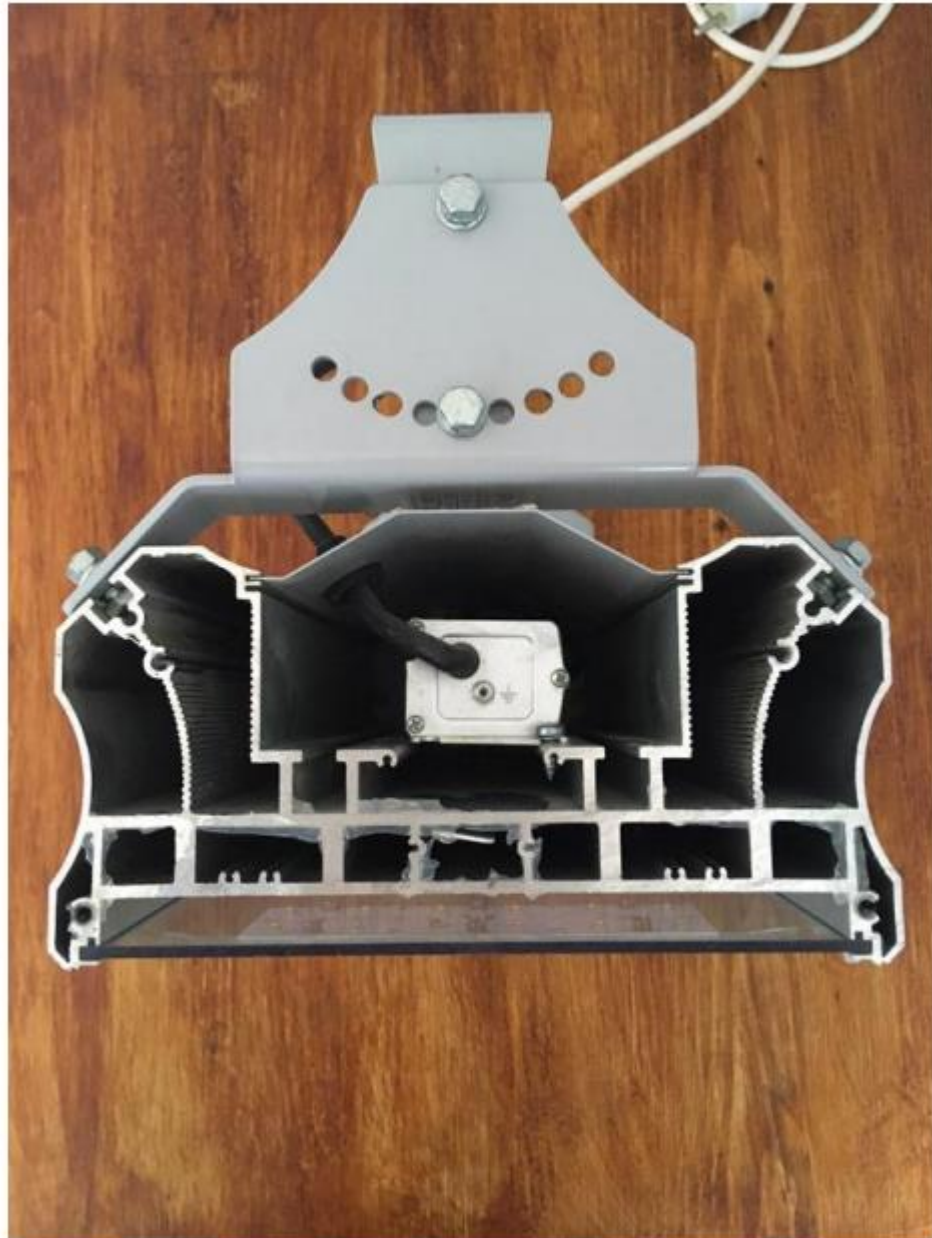


Рисунок 3.4 - Вид з торця з відкритою кришкою

Корпус даного світильника виконаний з анодованого алюмінію.

Матеріал кронштейна - сталь марки ПС. Світильник має потужність 55 Вт, які розподілені на дві плати типу MC-PCB (основа - алюміній). На кожній з двох лінійок по 12 світлодіодів, розмірами 3,5 x 3,5 мм. Також світильник має захисне екран, що закриває вразливу частину світильника - світлодіодні плани. Матеріал екрану – прозорий полікарбонат. Варто відзначити, що світильник призначений для вуличного і промислового освітлення і має для таких умов захисту від вологи і пилу IP65. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.1.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики обраного світлодіодного світильника

Напруга живлення	176-264 В (45-65Гц) АС
Споживана потужність	55 Вт
Марка світлодіодів	LG
Світловий потік	7200 Лм
Кут випромінювання і тип КСС	120 (Д)
Кольорова температура	5000 К
Ступінь захисту від вологи і пилу	IP 65
Вид кліматичного виконання	УХЛ 1
Діапазон робочих температур	-60 °С до + 50 °С
Матеріал корпусу	анодований алюміній
Матеріал і тип розсіювача	Полікарбонат (прозорий)
Маса	2,8 кг

3.2 Складання теплової схеми заміщення і тепловий розрахунок одиничного світлодіода

Також як і при розрахунку одиничного світлодіода, необхідністю є складання теплової схеми заміщення. Схема для світлодіодного світильника, корпус якого одночасно є і охолоджувачем для світлодіодів представлена на малюнку 3.5.

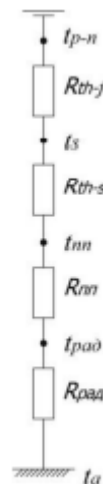


Рисунок 3.5 - Теплова схема заміщення світлодіодного світильника

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Досліджуваний світлодіод зроблений компанією LG. З DataSheet [2] на світлодіод LG форм фактора 35x35мм, встановлений на цьому пристрої, відомо тепловий опір $R_{th-j} = 6 \text{ C / Вт}$ - «кристал - корпус», а також тепловий опір $R_{th-s} = 12 \text{ C / Вт}$ - «корпус - точка пайки».

Для визначення теплового опору R решти ділянок напівпровідникового пристрою скористаємося формулою (2.1).

Знайдемо тепловий опір друкованої плати. Варто відзначити, що в даному світильнику застосована друкована плата форм фактора Metal Core PCB, що складається з трьох шарів:

- 4) Діелектрик (100 мкм);
- 5) Мідна фольга (35 мкм);
- 6) Алюмінієве підставу (2 мм).

Разом, при розрахунку сумарного теплового опору друкованої плати необхідно розрахувати кожен шар і в подальшому виконати додавання результатів.

Розрахунок діелектричного шару представлений нижче, використовуючи формулу 2.1:

$$R_{\text{diel}(1)} = \frac{\delta_{\text{diel}(1)}}{\lambda_{\text{diel}(1)} \cdot S_{\text{diel}(1)}} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{0,24 \cdot (13,5 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 10^{-3})^2} = 0,07 \text{ } ^\circ\text{C / Вт} \quad (3.1)$$

Варто звернути увагу, що вийшов вище результат відповідає лише тепловому опору для однієї плати, а в нашому світлодіодному світильнику їх дві. Розрахунок для двох плат проводиться за аналогією з паралельним з'єднанням елементів опорів (формула 3.2).

$$R_{\text{diel}} = \frac{R_{\text{diel}(1)} \cdot R_{\text{diel}(1)}}{R_{\text{diel}(1)} + R_{\text{diel}(1)}} = \frac{0,07 \cdot 0,07}{0,07 + 0,07} = 0,035 \text{ } ^\circ\text{C / Вт} \quad (3.2)$$

Далі зробимо розрахунок теплового опору мідної фольги:

$$R_{\text{midi}(1)} = \frac{\delta_{\text{midi}(1)}}{\lambda_{\text{midi}(1)} \cdot S_{\text{midi}(1)}} = \frac{35 \cdot 10^{-6}}{390 \cdot (43,5 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 10^{-3})^2} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C / Вт} \quad (3.3)$$

Так само, як і для теплового опору діелектричного шару необхідно порахувати тепловий опір і для мідної фольги:

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{міди}} = \frac{R_{\text{міди}(1)} \cdot R_{\text{міди}(1)}}{R_{\text{міди}(1)} + R_{\text{міди}(1)}} = \frac{(15 \cdot 10^{-6}) \cdot (15 \cdot 10^{-6})}{(15 \cdot 10^{-6}) + (15 \cdot 10^{-6})} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.4)$$

Наступним етапом є розрахунок теплового опору алюмінієвого шару:

$$R_{\text{Al}(1)} = \frac{\delta_{\text{Al}(1)}}{\lambda_{\text{Al}(1)} \cdot S_{\text{Al}(1)}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot (43,5 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 10^{-3})^2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.5)$$

Так само, як і для попередніх двох випадків вважаємо тепловий опір для двох плат:

$$R_{\text{Al}} = \frac{R_{\text{Al}(1)} \cdot R_{\text{Al}(1)}}{R_{\text{Al}(1)} + R_{\text{Al}(1)}} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-3}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})}{(1,6 \cdot 10^{-3}) + (1,6 \cdot 10^{-3})} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.6)$$

Вважаємо сумарний опір за формулою 2.2:

$$R_{\text{мн}} = 0,035 + 7,5 \cdot 10^{-6} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,036 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.7)$$

Для виконання розрахунку теплового опору $R_{\text{рад}}$ необхідно умовно розділити тепловідвідний радіатор на дві частини $R_{1\text{рад}}$ і $R_{2\text{рад}}$:

$$R_{\text{рад}} = R_{\text{рад1}} + R_{\text{рад2}} \quad (3.8)$$

Розрахунок теплового опору першої ділянки представлений нижче:

$$R_{\text{рад1}} = \frac{\delta_{\text{рад1}}}{\lambda_{\text{рад1}} \cdot S_{\text{рад1}}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot (270 \cdot 10^{-3} \cdot 210 \cdot 10^{-3})^2} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.9)$$

Далі розрахунок теплового опору другої ділянки:

$$R_{\text{рад2}} = \frac{\delta_{\text{рад2}}}{\lambda_{\text{рад2}} \cdot S_{\text{рад2}}} = \frac{80 \cdot 10^{-3}}{210 \cdot (270 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 10^{-3})^2} = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.10)$$

Сумарний опір радіатора розрахуємо за формулою 3.8:

$$R_{\text{рад}} = 0,25 \cdot 10^{-3} + 0,06 = 0,06 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.11)$$

Підсумковим дією в підрахунку загального теплового опору світлодіодного світильника є алгебраїчна сума всіх раніше відомих:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{рад}} + R_{\text{th-j}} + R_{\text{th-s}} + R_{\text{мн}} = 6 + 12 + 0,036 + 0,06 = 18,1 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (3.12)$$

Для обчислення температура р-п переходу скористаємося формулою 3.13, представленої нижче:

$$t_{\text{p-n}} = t_a + R_{\Sigma} \cdot P \quad (3.13)$$

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де t_a - температура навколишнього середовища;

R - сумарний тепловий опір «кристал - навколишнє середовище»;

P - потужність одного світлодіода.

Для розрахунку температури кристала необхідно задатися температурою довкілля. Такий розрахунок необхідний для подальшого порівняння методів розрахунку. Домовимося, що температура навколишнього середовища дорівнює «+ 22 С». Підставами відомі значення в формулу 2.12 і отримаємо:

$$t_{p-n} = 22 + 18,1 \cdot 2 = 58,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

Також для подальшого аналізу необхідний розрахунок температури кристала при температурі навколишнього повітря «+ 26 С»

$$t_{p-n} = 26 + 18,1 \cdot 2 = 62,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.15)$$

Для порівняння та аналізу з подальшими методами визначення температури кристала необхідно розрахувати також температуру в точці пайку світлодіода. В такому виключаємо з R_{Σ} теплові опори R_{nm} і R_{rad} . Таким чином сумарне теплове опір стане одно:

$$R_{\Sigma 2} = R_{th-j} + R_{th-s} = 6 + 12 = 18 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Wm} \quad (3.16)$$

Таким чином, температура в точці пайку t_s вийде:

$$t_s = t_a + R_{\Sigma 2} \cdot P = 22 + 18 \cdot 2 = 58 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

Максимальна робоча температура, задана технічними характеристиками пристрою становить «+50 $^{\circ}\text{C}$ ». Підставами відомі значення і отримаємо:

$$t_{p-n} = 50 + 18,1 \cdot 2 = 86,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.18)$$

Таким чином, виходячи з температури кристала світлодіода «85 $^{\circ}\text{C}$ », при якій він видає максимальний світловий потік, можна зробити висновок, що в порівняно з отриманим розрахунковим результатом, він має не суттєві відхилення. Найважливішим наслідком є також те, що кристал світлодіода прекрасно себе почуває при такій температурі. Тоді як максимальна допустима його температура «110 $^{\circ}\text{C}$ ».

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Експериментальне дослідження температури нагріву одиничного світлодіода

3.3.1 Вимірювання температури термопарою

Для проведення вимірювання була використана термопара і мультиметр.

На світлодіодним плати деякі виробники вказують місце для вимірювання температури в точці пайки світлодіода. Воно являє собою луджену майданчик, приклавши терморегіструючий прилад можна дізнатися температуру t_s . В даному світильникує таке місце і вказано воно на рисунку 3.6 стрілкою з позначенням SPT.

Для можливості забезпечення кріплення термопару до точки пайки світильник був розібраний. Тобто, знята торцева кришка і зрушать екран до тих пір, поки не був отриманий доступ до контактної майданчику. Після кріплення температурного елемента світильник зібраний в початковий стан.



Рисунок 3.6 Позначення умовної точки пайки

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 - Умовна точка пайки T_{SP} в збільшеному вигляді

Однак при вимірюванні цим методом є деякі незручності і складності. Термопару досить складно закріпити в нерухомому стані досить довго часу. Вдавшись до допомоги паяльника, припаяти її досить складно внаслідок її конструктивних властивостей. Тому для кріплення був використаний термопістолет. Варто зазначити, що для того щоб уникнути зовнішніх похибок вимірювання необхідно виконувати кріплення біля тепловимірювальної бобишки. Результати представлені на рисунках нижче.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

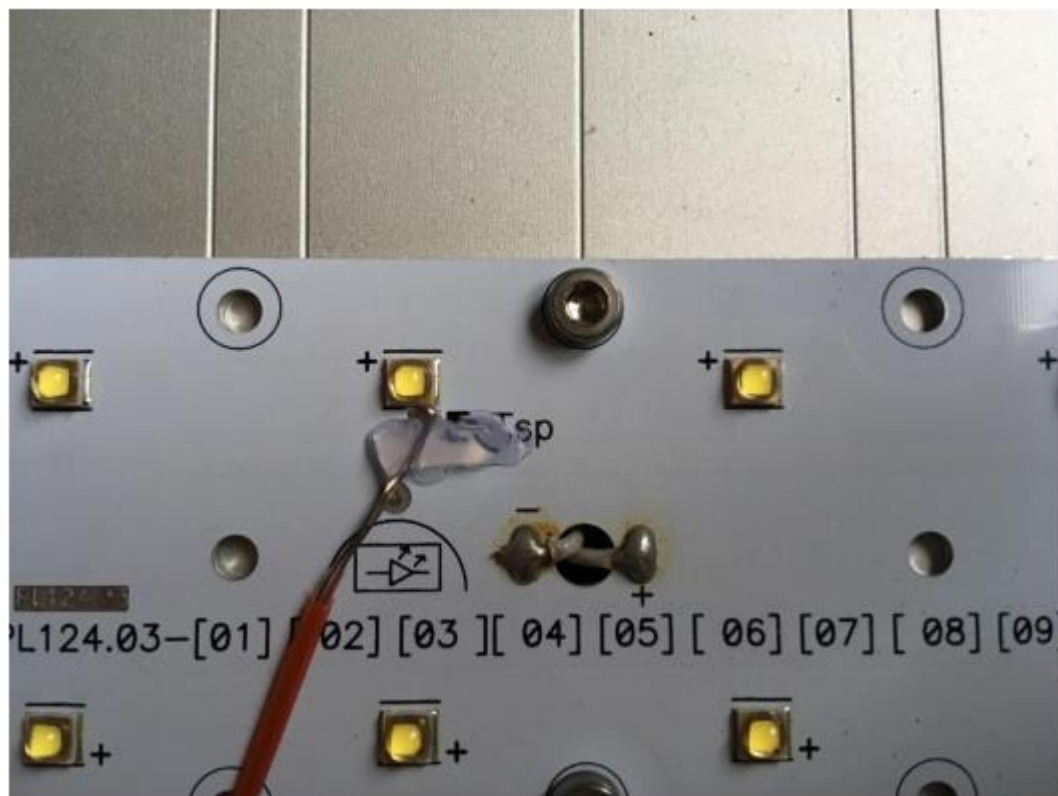


Рисунок 3.8 - Кріплення термопары вид зверху



Рисунок 3.9 - Кріплення термопары вид збоку

Для виконання природного середовища для вимірювання світильника була зібрана установка природного підвісу світильника.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.10 - Установка для вимірювання світлодіодного світильника

На рисунку 3.10 за показаннями мультиметра видно значення початкової температури виміру точки пайки. Виміри проводилися протягом 90 хвилин з проміжною фіксацією температури. Результати вимірювання представлені в таблиці 2.

Таблиця 3.2 - Результати вимірів температури в точці пайки світлодіода

t , МИН	0	5	10	20	30	40	90
T_{SP} , °C	25	43	46	50	52	54	58

Далі зробимо заміри температури корпусу світлодіодного світильника. Кріплення термопары здійснюємо також термопистолетом.



Рисунок 3.11 - Кріплення термопары на корпусі світильника



Рисунок 3.12 - Збільшений ракурс кріплення термопари на корпусі

Після нагріву світлодіодного світильника протягом 90 хвилин до номінальної температури корпус нагрівся до 41°C . Таким чином, можна зробити висновок, що в порівнянні результату з формульним методом відміну температури становить 2 градуси. Тим самим, розрахунок виконаний досить точно.

3.3.2 Вимірювання температури тепловізером

Тепловізійні виміри даного світлодіодного світильника проводилися на виробничому підприємстві, де температура в приміщенні становила 26°C .

Світильник має підвіс приблизно в 45° від горизонтальної площині. За рахунок цього потік повітря під дією закону фізики буде краще надходити в верхнє напрямк. Тоді як при підвісі світильника в горизонтальному положенні руху повітря буде перешкоджати велика площа світильника.

Результати виміру представлені на наступних зображеннях:

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

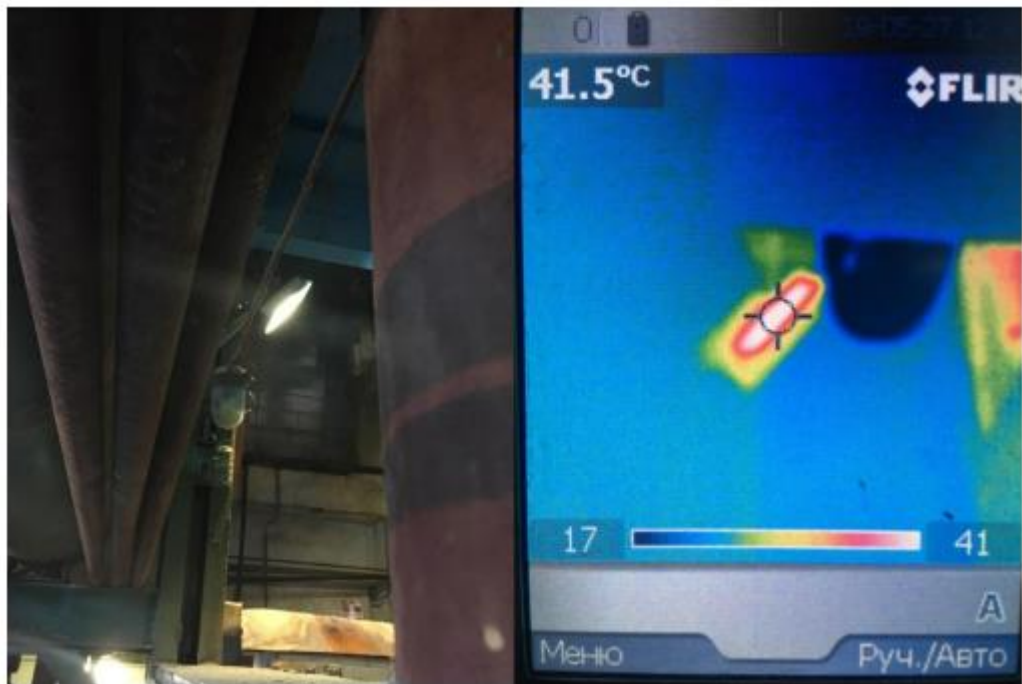


Рисунок 3.13 - Вимірювання температури корпусу тепловізором

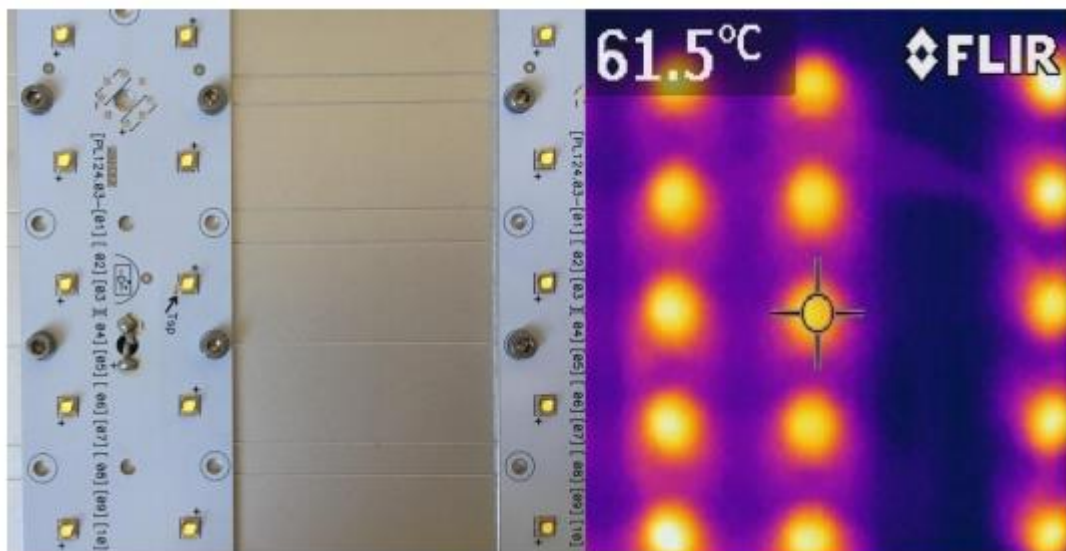


Рисунок 3.14 - Вимірювання температури кристала світлодіода

3.4 Комп'ютерне моделювання теплових процесів, що протікають в світильнику

Перш ніж приступити до теплового дослідження, необхідно створити 3D модель. Створення 3D моделі відбувається так само в SolidWorks.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проведення теплового моделювання 3D модель може бути створена більш спрощеною, ніж в реальності. На спотворення результатів розрахунків спрощення не впливає. При використанні спрощеної моделі значно скорочується час розрахунку програмою. Ще однією складністю в моделювання більш деталізованих конструкцій це обмеження по обчислювальній потужності комп'ютерної техніки. Тому при створення можна знехтувати скругленнями, отворами для кріплення і т.п.

Створена 3D модель досліджуваного світлодіодного світильника «Титан» потужністю 55 Вт представлена на зображеннях нижче.

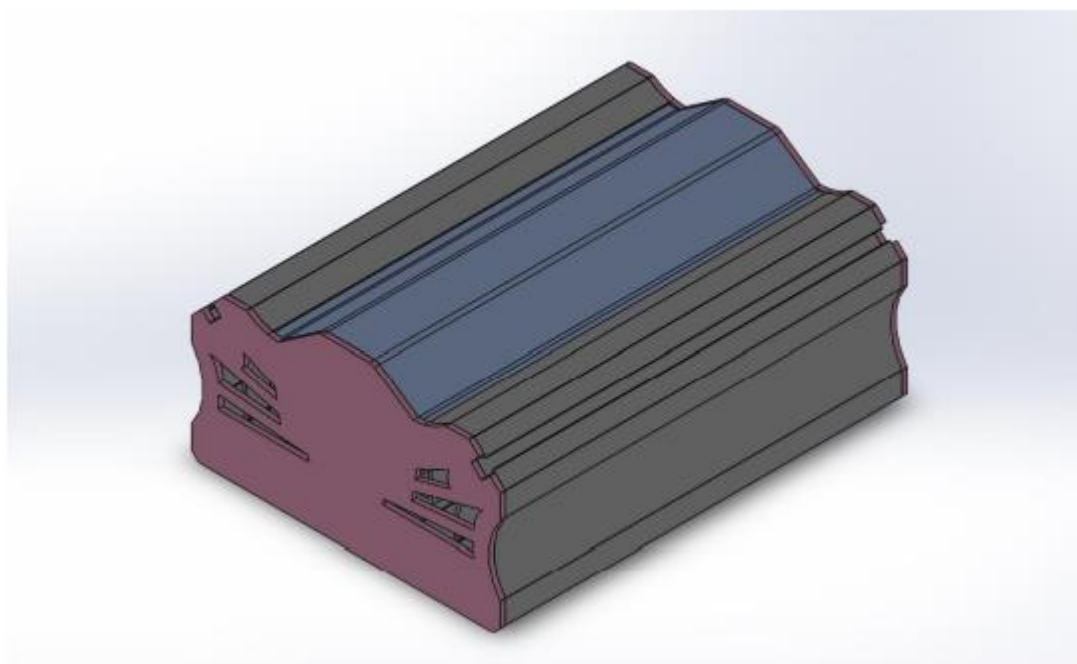


Рисунок 3.15 - Ізометричний вид 3D моделі досліджуваного світлодіодного світильника

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

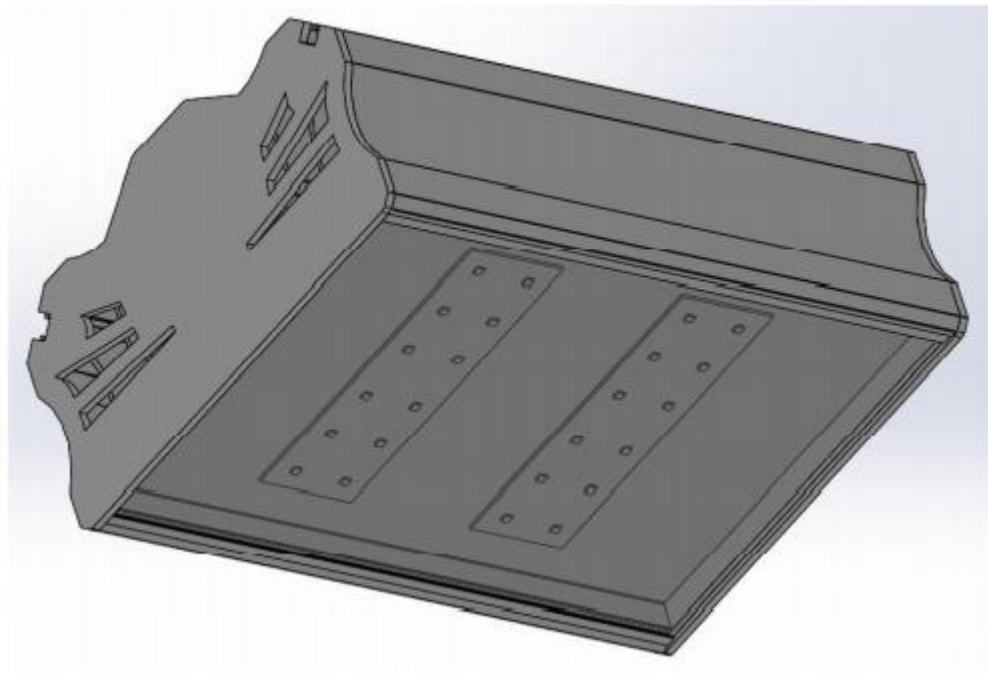


Рисунок 3.16 - Зовнішній вигляд 3D моделі знизу

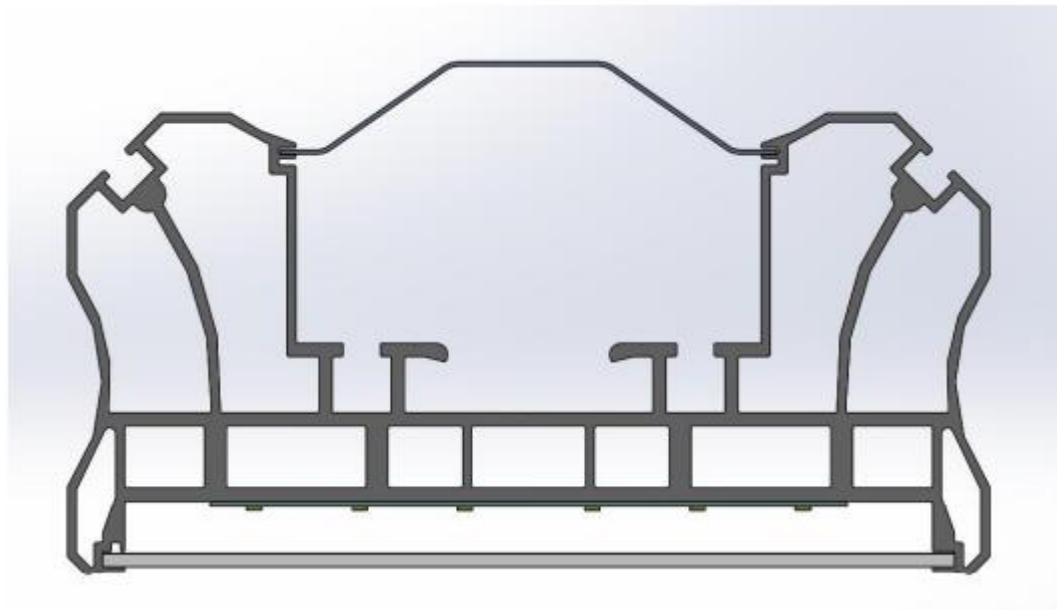


Рисунок 3.17 - Вид 3D моделі збоку

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

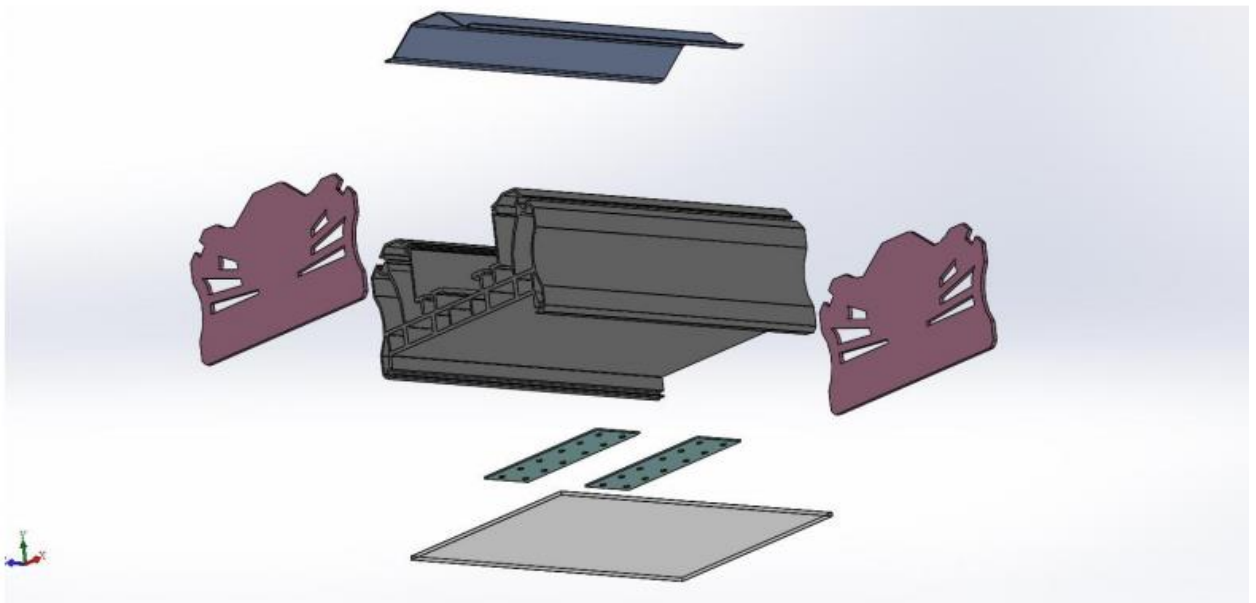


Рисунок 3.18 - Вид з рознесеними елементами досліджуваного світлодіодного світильника

Теплове моделювання виконувалося в програмному середовищі Solidworks Simulation аналогічно моделювання одиничного світлодіода.

Отримані результати виявилися дуже навіть позитивні. Розглянемо і проведемо аналіз теплового моделювання.

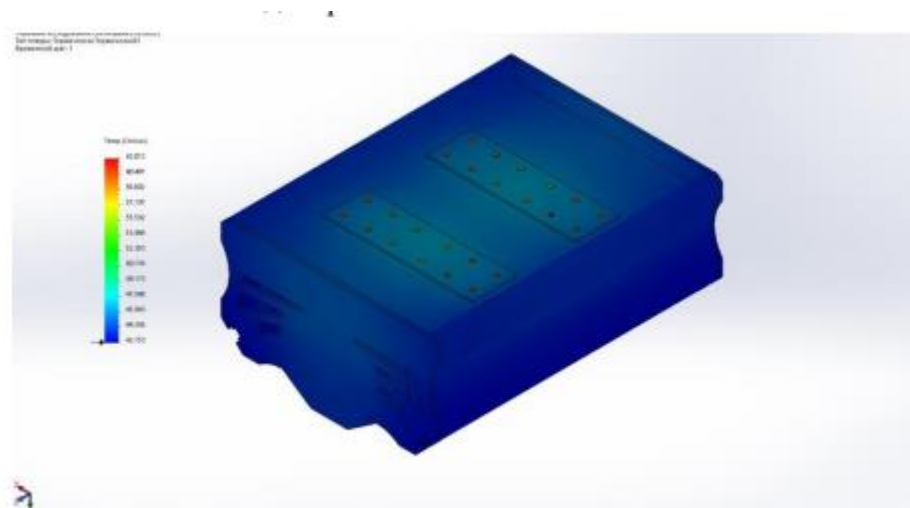


Рисунок 3.19 - Результати комп'ютерного моделювання світлодіодного світильника

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

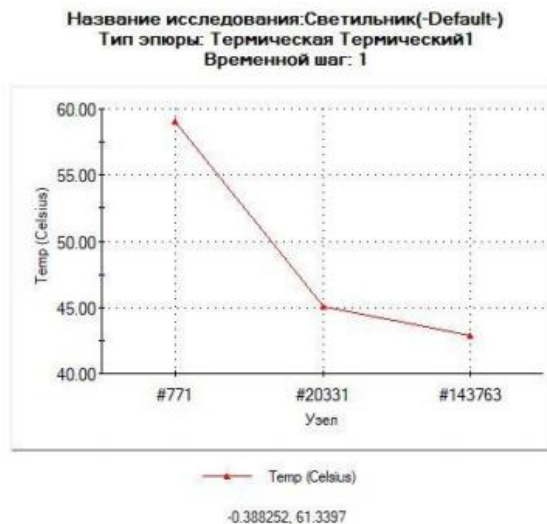


Рисунок 3.20 - Графік температури світлодіодного світильника

Верхня точка графіка відповідає точці на рисунку 3.21 в умовної точки пайки світлодіода.

Середня точка графіка відповідає температурі в точці між платою і охолоджувачем з рисунка 3.21.

Нижня точка графіка відповідає температурі охолоджувача світлодіод з рисунка 3.21.

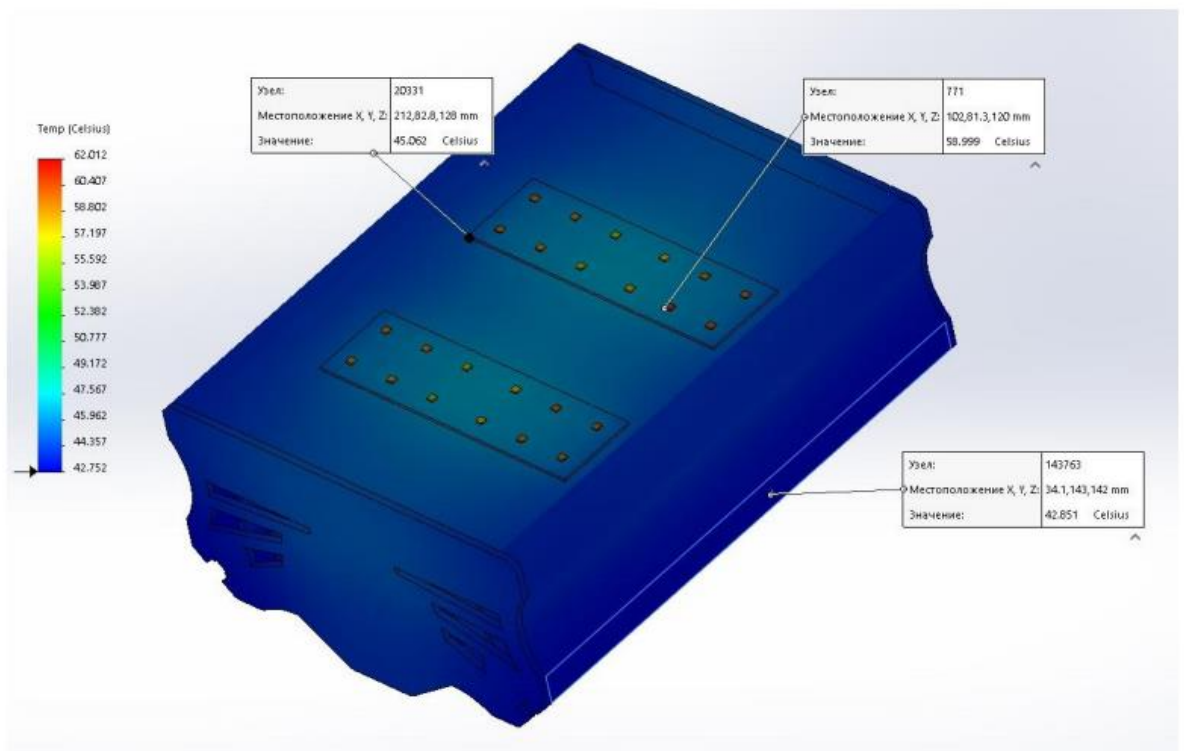


Рисунок 3.21 - Результат «зондування»

3.5 Висновки до розділу

1. Аналізуючи виконану роботу, можна зробити висновок, що результати розрахунку, вимірювання і моделювання мають різницю не більше ніж в 2-3 градуси за Цельсієм, що говорить про правильність проведеного моделювання.

2. Варто відзначити витрачений час на виконання виконаної роботи за окремими пунктами дослідження. Звичайно, метод вимірювання тепловізером є лідером, але варто відзначити, що для проведення виміру необхідно виготовлення дослідного зразка світлодіодного пристрою, що в свою чергу несе додаткові фінансові витрати.

3. У порівнянні формульного методу і експериментального методу зроблений висновок, що витрачений час самотнього, але також як і для телевізійного виміру необхідно виготовлення дослідного зразка.

4. Знову ж виконання комп'ютерного моделювання за витратами часу значно обходить формульний метод. Також, варто відзначити, що при виконанні розрахунків формульним методом складних світлодіодних світильників є достатня можливість для здійснення помилки при алгебраїчних операціях, що збільшить час розрахунку, або розрахунки і зовсім будуть помилковими.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок

При дослідженні систем живлення електроустановки трансформаторних підстанцій оглядаються без зняття з них напруги, на віддалі від струмоведучих частин. Дефекти виявляються візуально – оглядом і на слух. Право одноособового огляду електроустановки має черговий із кваліфікаційною групою не нижче III або адміністративно-технічний працівник, що має V групу в установках напругою вище 1000 В і IV групу в електроустановках напругою нижче 1000 В.

При оглядах діючих електроустановок не можна проходити за огороження, знімати їх і входити в камери розподільних пристроїв, що не мають бар'єрів. При необхідності дозволяється працівникові з кваліфікаційною групою не нижче IV увійти за огороження, але за умови, що струмоведучі частини недоступні, тобто нижні фланці ізоляторів знаходяться від сталі на відстані більше 2 м, а неогорожені струмоведучі частини - на відстані більше 2,75 м при напрузі 35 кВ і 3,5 м при напрузі 110 кВ.

При менших відстанях входити за огороження можна тільки в присутності другої особи, що має кваліфікаційну групу не нижче III, і за умови, що струмоведучі частини знаходяться на відстані зазначеному в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі відстані від місця проведення робіт до струмоведучих частин у залежності від їх напруги

Номинальна напруга електроустановки, кВ	Допустима відстань, м
до 15	0,7
від 15 до 35	1,0
від 35 до 110	1,5
154	2
220	2,5
330	3,5
400 і 500	4,5

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Варга С.Ю.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.					
Консульт.					БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ <i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Н. Контр.		Вакуленко О.О.					
Затверд.		Тарасенко М.Г.					

Вимкнення і зміни в електричних схемах РЕМ здійснюються тільки за розпорядженням або з відома чергового персоналу, у керуванні або підпорядкуванні якого знаходиться устаткування. При пожежах, нещасних випадках або при стихійних лихах негайно потрібно вимикати електроустаткування без узгодження, з послідуочим записом у оперативному журналі.

Розпорядження вважається виконаним після того, як черговий повідомить особисто або телефоном черговому диспетчерові енергосистеми мереженого району, черговому інженерові, тобто особі, що дала розпорядження. Керуватися показами приладів та повідомленнями осіб не оперативного персоналу про виконання розпорядження не можна.

Особа, що віддає розпорядження про переключення, обов'язково перевіряє послідовність операцій за оперативною схемою. Черговий, який отримав розпорядження, зобов'язаний повторити його і записати в оперативний журнал.

За оперативною схемою або макетові цей черговий намічає порядок операції. Якщо переключення виконують дві особи, то перша особа є старшою, роз'ясняє другій (виконавцю) завдання і послідовність його виконання.

В електроустановках напругою вище 1000 В, не обладнаних повністю блокованими від неправильних операцій роз'єднувачів, складні переключення проводяться за бланками. В бланку переключень виконується запис усіх операцій про увімкнення і вимкнення електрообладнання точно у тій послідовності, у якій ці операції повинні виконуватись.

Прості переключення на одному електричному приєднанні і переключення в електроустановках повністю обладнаних блокуванням роз'єднувачів від неправильної операції, можуть виконуватися без бланків.

Бланки переключень заповнює і підписує черговий який є безпосереднім виконавцем. Старший черговий контролюючий виконання операцій, перевіряє бланк і також його підписує. Старший черговий зачитує зміст операції виконавець повторює прочитане і приступає до виконання. Старший контролює дії виконавця і відразу відзначає в бланку виконання операції. При сумніві в правильності

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

операцій робота припиняється до в'яснення правильного порядку переключень. Якщо черговий робить переключення одноосібно, то він зачитує послідовність операцій вказаних у бланку телефоном старшому черговому який віддав розпорядження. Цей черговий є контролюючою особою.

Дозвіл на переключення виконавець зобов'язаний одержати телефоном безпосередньо перед їх виконанням. Приєднання вмикають або вимикають з допомогою вимикачів.

Роз'єднувачі необхідно вмикати ривком. Якщо при цьому виникає дуга, то ножі необхідно довести до кінця. У протилежному випадку зворотний хід ножа викличе виникнення дуги й нещасний випадок. Вимикати роз'єднувачі треба, навпаки, повільно, особливо в початковий момент. Якщо з'явиться дуга при відході ножів від губок, то роз'єднувач необхідно увімкнути назад.

Роз'єднувачі відключають (включають) у діелектричних рукавицях. Роз'єднувачі з пофазним керуванням і з вертикальним розташуванням – у діелектричних рукавицях, з використанням ізолюючих штанг і стоячи на ізолюючій підставці. Старшим може бути черговий, що має не меншу ніж IV кваліфікаційну групу. Прості перемикання на одному електричному приєднанні дозволяється виконувати оперативному персоналу, що має не нижче ніж IV кваліфікаційну групу, одноосібно.

Перевіряти відсутність напруги, накладати й знімати переносні заземлення дозволяється не менш ніж двом виконавцям.

4.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

При дослідженні систем живлення було виявлено що кабель, прокладений в землі чи в трубах відкрито, може при пошкодженні стати причиною пожежі.

Пожежа може виникнути внаслідок загоряння гарячих матеріалів, що знаходяться в кабельній споруді, при електричному розряді кабелю чи в момент випробувань, чи при ремонтних роботах із – за недотримання заходів пожежної безпеки.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В електричних мережах необхідно виконувати наступні вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок:

1) допускається гасіння пожежі водяними потоками на невимкнених електроустановках напругою до 10 кВ, відкритих тільки для огляду електрика. При цьому опору заземляють, а електрик – працює в діелектричних ботах та рукавицях. Не допускається гасіння пожеж ручними засобами ;

2) забороняється гасіння пожежі усіма видами пін з допомогою ручних засобів в електроустановках під напругою, так як піна і розчини піноутворювачів мають велику електропровідність. Тільки в окремих випадках при спеціальному закріпленні піногенераторів і надійному їх заземленні, а також заземленні насосів пожежних машин, дозволяється гасити пожежу повітряно – механічною піною в електроустановках напругою до 10 кВ, які знаходяться під напругою;

3) при пожежі трансформатор вимикається з обох сторін, після чого одразу ж приступають до його гасіння будь – якими засобами (повітряно – механічною піною, розпиленою водою, вогнегасниками). При гасінні пожежі в трансформаторах, які встановлені в приміщеннях , необхідно прийняти заходи щодо попередження розповсюдження пожежі через вентиляційні та інші канали. Вентиляція в приміщенні в цей період може умикатись тільки з вказівки пожежного підрозділу;

4) при загорянні кабелів необхідно при наявності стаціонарної системи пожежегасіння (повітряно – механічною піною, розпиленою водою) включити її в роботу. При гасінні горючих кабелів напругою вище 1000 В у кабельному тунелі, пожежник який працює з пожежним стволом, повинен направляти потоки води через дверний люк, не заходячи при цьому в відсік з горючими кабелями. Одночасно з гасінням пожежі кабелів потрібно прийняти заходи з швидкого зняття з них напруги;

5) щити управління станцій чи підстанцій напругою до 0,4 кВ являються найбільш важливою частиною електроустановок, тому найбільшу увагу при гасінні пожежі приділяється збереженню на них встановленої апаратури;

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) при загорянні кабелів, проводів і апаратів на панелях щитів управління оперативний персонал повинен зняти напругу з панелей, не допускаючи переходу вогню на сусідні панелі. В цьому випадку застосовують вуглекислотні вогнегасники чи брометиллові, а також порошкові вогнегасники.

4.3 Захист електротехнічних систем та електронної апаратури від пошкоджень, які викликані електромагнітним імпульсом ядерного вибуху

Для того, щоб зрозуміти всю складність проблем загрози ЕМІ і заходів щодо захисту від неї, необхідно коротко розглянути історію вивчення цього фізичного явища і сучасний стан знань у цій області.

Те, що ядерний вибух буде обов'язково супроводжуватися електромагнітним випромінюванням, був ясно фізикам-теоретикам ще до першого випробування ядерного пристрою в 1945 році. Під час проводилися в кінці 50-х - початку 60-х років ядерних вибухів в атмосфері і космічному просторі наявність ЕМІ було зафіксовано експериментально. Однак кількісні характеристики імпульсу вимірювалися в недостатній мірі, по-перше, тому що була відсутня контрольовано-вимірювальна апаратура, здатна реєструвати надзвичайно потужне електромагнітне випромінювання, що існує надзвичайно короткий час (мільйонні частки секунду), по-друге, тому що в ті роки в радіоелектронній апаратурі використовувалися виключно електровакуумні прилади, які мало схильні до впливу ЕМІ, що знижувало інтерес до його вивчення.

Створення напівпровідникових приладів, а потім і інтегральних схем, особливо пристроїв цифрової техніки на їх основі, і широке впровадження засобів в радіоелектронну військову апаратуру примусили військових фахівців з іншого оцінити загрозу ЕМІ. З 1970 року питання захисту зброї і військової техніки від ЕМІ стали розглядатися міністерством оборони США як що мають вищу пріоритетність.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм генерації ЕМІ полягає в наступному. При ядерному вибуху виникають гамма і рентгенівське випромінювання і утвориться потік нейтронів. Гамма-випромінювання, взаємодіючи з молекулами атмосферних газів, вибиває з них так звані комптонівські електрони. Якщо вибух здійснюється на висоті 20-40 км., То ці електрони захоплюються магнітним полем Землі і, обертаючись відносно силових ліній цього поля створюють струми, що генерують ЕМІ. При цьому поля ЕМІ когерентно підсумовуються у напрямі до земної поверхні, тобто магнітне поле Землі виконує роль, подібну фазованою антеною грат. В результаті цього різко збільшується напруженість поля, а отже, і амплітуда ЕМІ в районах південніше і на північ від епіцентру вибуху. Тривалість даного процесу з моменту вибуху від 1 - 3 до 100 *нс*.

На наступній стадії, що триває приблизно від 1 *мкс* до 1 *з*, ЕМІ створюється комптонівськими електронами, вибитими з молекул багато разів відображеним гамма-випромінюванням і за рахунок непружного зіткнення цих електронів з потоком що випускаються при вибуху нейтронів. Інтенсивність ЕМІ при цьому виявляється приблизно на три порядки нижче, ніж на першій стадії.

На кінцевій стадії, що займає період часу після вибуху від 1 *з* до декількох хвилин, ЕМІ генерується магнітогідродинамічним ефектом, породжуваним збуреннями магнітного поля Землі струмопровідних вогняною кулею вибуху. Інтенсивність ЕМІ на цій стадії вельми мала і становить декілька десятків вольт на кілометр.

Найбільшу небезпеку для радіоелектронних засобів представляє перша стадія генерування ЕМІ, на якій відповідно до закону електромагнітної індукції через надзвичайно швидкого наростання амплітуди імпульсу (максимум досягається на 3 - 5 *нс* після вибуху) наведеної напруга може досягати десятків кіловольт на метр на рівні земної поверхні, плавно знижуючись в міру віддалення від епіцентру вибуху.

Амплітуда напруги, що наводяться ЕМІ в провідниках, пропорційна довжині провідника, що перебуває в його полі, і залежить від його орієнтації щодо вектора напруженості електричного поля.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так, напруженість поля ЕМІ в високовольтних лініях електропередачі може досягати 50 кВ/м, що призведе до появи в них струмів силою до 12 тис.А.

ЕМІ генеруються і при інших видах ядерних вибухів - повітряному і наземному. Теоретично встановлено, що в цих випадках його інтенсивність залежить від ступеня асиметричності просторових параметрів вибуху. Тому повітряний вибух з точки зору генерації ЕМІ найменш ефективний. ЕМІ наземного вибуху буде мати високу інтенсивність, проте вона швидко зменшується в міру віддалення від епіцентру.

Ідеальною захистом від ЕМВ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевий екран.

Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричну зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрозабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичних. Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час засобів захисту кабельних вводів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металлоокисні варистори і високошвидкісні зенеревські діоди.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі можна зробити наступні висновки:

1. Виконано аналіз сучасних рішень охолодження світлодіодного світильника.

2. Проаналізована залежність форми і методи охолодження світлодіодних світильників за допомогою порівняння їх з економічних параметрам і за критеріями надійності, «гнучкості» можливого застосування в різних областях.

3. Запропоновано метод розрахунку напівпровідникових пристроїв, який завдяки своїй доступності в технічному плані показав досить простий і точний кінцевий розрахунок.

4. Виконано глибокий аналіз роботи програмного продукту SolidWorksSimulation на основі розрахунку одиничного світлодіода з метою освоєння завдань граничних і початкових умов і, щоб уникнути спотворення результатів і неправильності розрахунку при дослідженні складного багато елементного світлодіодного світильника.

5. Виконано аналіз руху повітряних потоків з метою аналізу повітряних пробок в програмному середовищі SolidWorks FlowSimulation.

6. Порівняно отримані дані і зроблені попередні висновки по ефективності роботи з використанням програмних середовищ комп'ютерного моделювання, тим самим показавши наскільки велика економія часу в порівнянні експериментальним методом.

7. Отримано результат розрахунку складного напівпровідникового обладнання потужність 55 Вт і проведено його експериментальне дослідження тепловізором на реальному виробничому об'єкті, а також проведено експериментальний замір температурним пристроєм (Термопарою) з метою подальшого порівняння з результатами теплового моделювання в програмному

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Варга С.Ю.			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консульт.						ТНТУ, гр.ЕТс-41		
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

середовищі SolidWorks Simulation.

8. За результатами порівняння відхилення кінцевих отриманих результатів мінімально і становить не більше 2-3%.

9. Показана ефективність застосування програмних середовищ комп'ютерного моделювання, що в свою чергу дозволяє без множинних ітерацій виготовлення дослідних зразків і виконань теплових вимірів прораховувати максимальну теплову потужність, витримують тих чи інших спроектованим радіатором - охолоджувачем. У свою чергу при відсутності необхідності виготовлення зразків в рази зростає економічна ефективність і істотна економія часу.

					<i>КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. А. Поліщук, Забезпечення теплового режиму потужних світлодіодних ламп при розробці світлотехнічних пристроїв // Сучасна електроніка. 2006, №3, стор. 52-56.

2. Світлодіоди і їх застосування для освітлення. Під загальною редакцією ак. АЕН РФ Ю. Б. Айзенберга. М.: Знак, 2012.

3. Фотоніка - науково-технічний журнал [Електронний ресурс]
[URL: http://www.photonics.su](http://www.photonics.su)

4. Принципи підвищення енергоефективності напівпровідникових світлових приладів [Електронний ресурс] [URL: https://esu.citis.ru/dissertation/WUSGBHUAA1JUVK82WYEQBFMP](https://esu.citis.ru/dissertation/WUSGBHUAA1JUVK82WYEQBFMP)

5. Ноель Лотар / Охолодження і регулювання температурних режимів світлодіодів // Напівпровідникова світлотехніка. - 2010. - № 3. - С. 13

6. Вибір оптимального режиму роботи світлодіодних випромінювачів / Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская, В.І. Константинов, В.О. Волков // Вісник ЮУрГУ. - 2010. - №2. - С. 48-51

7. Особливість експлуатації світлодіода / В. Константинов, Є. вставки, А. Вставській, М. Пожидаєв // Напівпровідникова світлотехніка. - 2011. - №5. - С. 56-57.

8. Вайман Д.А., Данилов В.С. Дослідження способів ефективного відводу тепла в світлодіодах поверхневого монтажу // Зб. науч. тр. НГТУ. - 2013. - №4. - С. 72-81.

9. Луценко Е.В. Температура перегріву активної області комерційних світлодіодів // Напівпровідникова світлотехніка. - 2011. - № 2. - С. 26-29.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ					
Розроб.		Варга С.Ю.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.								
Консулт.								ТНТУ, гр.ЕТс-41		
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.								

10. Поліщук А. Забезпечення теплового режиму потужних світлодіодних ламп при розробці світлотехнічних пристроїв / А. Поліщук // Сучасна електроніка. - 2006. - №3. - С. 42-45

11. Особливість експлуатації світлодіода / В. Константинов, Є. вставки, А. Вставській, М. Пожидаєв // Напівпровідникова світлотехніка. - 2011. - №5. - С. 56-57.

12. Вибір оптимального режиму роботи світлодіодних випромінювачів / Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская, В.І. Константинов, В.О. Волков // Вісник ЮУрГУ. - 2010. - №2. - С. 48-51.

13. Бабушкіна Л.Г. Рішення проблеми Тепловод в світлодіодній техніці // Пермський національний дослідний політехнічний університет. - 2012. - С. 271-274.

14. Феопентов А., Миколаїв Д. Основи теплового менеджменту при конструюванні ПСП // Напівпровідникова світлотехніка. - 2010. - №1. - С. 44-47.

15. Бородін С.М. Забезпечення теплових режимів в конструкціях радіоелектронних схем. Ульяновськ, 2007.

16. Дульнєєв Г.Н., Тепло- та масообмін в радіоелектронній апаратурі. - М. Вища. шк., 1984.

17. Ісакеєв, А.І., Кисельов І.Г., Філатов В.В. ефективні способи охолодження силових напівпровідникових приладів: Енергоіздат, 1982. - 136

18. Скрипніков Ю.Ф. Радіатори для напівпровідникових приладів: Енергія, 1973. - 48 с.

19. Вибір оптимального режиму роботи світлодіодних випромінювачів / Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская, В.І. Константинов, В.О. Волков // Вісник ЮУрГУ. - 2010. - №2. - С. 48-51.

20. Маняхін Ф.І., Кудряшов В.Є., Туркін А.Н., Юнович А.Е. // Фізика і техніка напівпровідників. - 1999. - Том 33. - Вип. 2. - С. 224-232.

21. Бородін С.М., Забезпечення теплових режимів в конструкціях радіоелектронних засобів. - Ульяновськ: Вул. ГТУ, 2008. - 52.

					КРБ 19-018.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		