

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ,
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
КАФЕДРА СВІТЛОТЕХНІКИ І ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

**ОСВІТЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АРХІТЕКТУРИ.
РОЗРОБКА СВІТЛОДІОДНОГО ПРОЖЕКТОРА**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:
КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ
Костянтин
гр. СДС2023-1у

Керівник:
Гліб ПЕТЧЕНКО
д.ф.-м.н., проф.

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра світлотехніки і джерел світла

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Світлотехніка та дизайн світлового середовища

 **ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри СДС
Віталій ГЕРАСИМЕНКО
«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Краснопольського Костянтина Вадимовича

1.Тема роботи: Освітлення об'єктів архітектури. Розробка світлодіодного прожектора.

керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Петченко Г.О., д.ф.м.н., професор кафедри СДС

затверджені наказом університету № 440-03 від «22» травня 2026р.

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи:
16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст бакалаврської кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина Розглянути основні задачі, напрямки і засоби архітектурного освітлення

4.2 Світлотехнічна частина (вихідні дані, метод і алгоритм розрахунку, програмне забезпечення) провести аналітично-пошукову роботу та вибрати оптимальну оптику для архітектурного LED-світильника. Провести світлотехнічний розрахунок для аналогічного варіанту світлорозподілу, в якому за основу взято використання лампи ДНаТ-50.

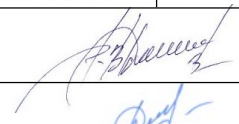
4.3 Аналіз результатів і рекомендації щодо застосування (напрями удосконалення, результати проведеної роботи) надати власний технологічно орієнтований конструктив та запропонувати технологічну схему серійного виготовлення спроектованого LED-світильника як нової і готової до впровадження номенклатурної одиниці світлотехнічної продукції.

4.4 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових слайдів):

Актуальність, Мета, Завдання. Вибір джерела світла і оптики до нього. КСС майбутнього світильника і спектр світлової плями. Ізолюкси і розподіл освітленості на різних висотах підвісу. Прототипи конструкцій подібних світильників. Запропонована принципова конструкція світильника з можливістю заміни оптичного блоку. Запропонована технологія виготовлення основних елементів конструкції світильника. Висновки.

6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Гліб ПЕТЧЕНКО, професор		
Охорона праці	Яків СЕРІКОВ доцент		
Нормоконтроль	Роман ВОРОНОВ, доцент		
Антиплагіат	Олена ДІДЕНКО, ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 11.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	11.05.26 – 17.05.26	
2	Світлотехнічна частина	18.05.26 – 31.05.26	
3	Аналіз результатів і рекомендації щодо застосування	01.05.26 – 06.05.26	
4	Охорона праці	07.06.26 – 12.06.26	
5	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	13.06.26 – 16.06.26	
6	Підготовка доповіді та презентації	17.06.26 – 18.06.26	

Здобувач



Костянтин КРАСНОПОЛЬСЬКИЙ

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи



Гліб ПЕТЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається питання, щодо освітлення об'єктів архітектури, а саме, розробка світлодіодного прожектора.

У першій частині роботи розглянуто основні задачі і напрямки архітектурного освітлення і проведено стислий огляд світлових приладів, що використовуються для вказаних задач.

У другій частині роботи виконано аналітично-пошукову роботу з вибору найбільш оптимальної світлодіодної оптики з технічних рішень компанії Khatod Optical Solution; на основі розгляду 6 варіантів вибрано базовий для розробки. Крім того, виконано окремий світлотехнічний розрахунок для аналога з розрядною лампою, який передбачає використання лампи ДНаТ-50 і призначений як запасний варіант для форс-мажорної заміни світлодіодного приладу (аналогічний світлорозподіл).

У третій частині роботи стисло розглянуто прототипи готових конструкторських рішень і запропоновано власний технологічно орієнтований конструктив СП.

У четвертій частині розроблено технологію виготовлення конструкції проєктованого LED-світильника.

Основними результатами бакалаврської кваліфікаційної роботи є комплексна розробка LED-світильнику для задач архітектурного освітлення, що ґрунтується на вирішенні світлотехнічних, конструкторських і технологічних задач.

Ключові слова: архітектурне освітлення, LED-модулі, фотометричні тести, запасний варіант з ДНаТ-50, технологія виготовлення, технологічно орієнтований конструктив.

Загальний обсяг бакалаврської кваліфікаційної роботи становить: сторінок – 69, рисунків – 23, таблиць – 30, формул – 25, літературних джерел – 30.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
1.1 Види світлодіодних прожекторів	8
1.2 Висновки по розділу 1	20
2. СВІТЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Огляд світлотехнічних рішень для світлодіодних світильників прожекторного класу від фірми Khatod Optical Solution for LED Lighting	21
2.2 Світлотехнічний розрахунок для аналогічного за світлорозподілом світильника з натрієвою лампою	38
2.3 Висновки по розділу 2	45
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ	46
3.1 Розробка конструкції світильника	46
3.2 Розробка технологічних процесів виготовлення світильника	49
3.3 Висновки по розділу 3	50
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	51
4.1 Виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів	51
4.2 Розробка організаційних і технічних заходів щодо створення безпечних умов роботи в лабораторії	53
4.3 Освітлення лабораторії	54
4.4 Електробезпека	57
4.5 Пожежна безпека	62
4.6 Висновки по розділу 4	63
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

ВСТУП

Сьогодні складно переоцінити роль архітектурного освітлення у створенні яскравого нічного образу міста. Продумане до дрібниць підсвічування фасадів будівель і споруд, фонтанів та мостів, міських пам'яток архітектури і навіть звичайних магазинів дозволяє зробити їх впізнаваними і такими, що запам'ятовуються. Втім, оригінальне світлове рішення має не тільки функціональне, але й естетичне призначення. Більш того, воно для окремо взятих об'єктів (банків, готелів, торговельних та офісних центрів) є індикатором популярності і престижу. Адже гідний зовнішній вигляд фасаду, його респектабельність в темний час доби безпосередньо впливає на комерційний успіх того чи іншого об'єкту. Сьогодні архітектурне освітлення будівель і споруд використовується повсюди. І це закономірно. Адже з його допомогою вдається перетворити всі, без винятку, об'єкти архітектури зі звичайних і сумних будівель в оригінальні і сучасні споруди, від яких складно відвести погляд, в які хочеться повертатися знову і знову [3-17]. При проєктування освітлення на тих чи інших об'єктах, треба ураховувати їхнє призначення. Так, наприклад:

- всі ділові будови (банки, офісні і бізнес-центри) найчастіше освітлюються повністю. У той же час вхід в них може «заливатися» іншим кольором;
- поруч з торговельними центрами логічніше встановлювати потужні прожектори, що випромінюють яскраві потоки світла в нічне небо. Використання подібних освітлювальних приладів доречно і для підсвічування фасадів новобудов на стадії їхнього продажу;
- втілюючи в життя проєкт освітлення пам'ятника архітектури, головне завдання освітлювачів полягає в тому, щоб не тільки підкреслити світлом задум його творця, але і не зруйнувати його основну ідею.

Популярність світлодіодних світильників як засобів і інструментів архітектурного освітлення зростає з кожним роком. Це відзначають Даний факт є безсумнівний, оскільки прилади, що працюють на основі світлодіодів, мають безліч беззаперечних плюсів [5-10, 12, 15]. А саме:

- економічність: на відміну від світильників зі звичайними лампами, світлодіодні споживають на порядок менше електроенергії;
- довговічність: робочий ресурс пристроїв на світлодіодах в кілька разів вище, ніж у звичних ламп розжарювання. Крім того, перші відрізняються гарною стійкістю до механічних і температурних впливів. Їх можна застосовувати в широкому діапазоні температур (від -60 до +40 оС), не турбуючись за передчасний вихід з ладу;
- безпечність: експлуатація світлодіодних світильників дає можливість уникнути сліпучого ефекту. Та й до того ж, у них повністю відсутнє мерехтіння. Чого не скажеш про лампи денного світла.

Враховуючи вказане, стає зрозумілим що задача створення світлодіодних світильників для архітектурного освітлення є цілком актуальною.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Архітектурне освітлення є ключовим елементом у формуванні загального сприйняття будівель та споруд у темний час доби. Звісно, воно не є абсолютно обов'язковим для кожного будинку, проте вкрай рекомендовано для підсвічування історичних та цікавих з естетичної точки зору архітектурних рішень [3-10, 18]. Крім того, ретельно виважене та реалізоване декоративне освітлення будівлі стає досить непоганим рекламним засобом – як для тих закладів, що знаходяться саме у цій споруді, так і для інших, чії постери будуть розміщені тут же, у видимій зоні. Концепції створення освітлення можуть бути прямо протилежними. Для одних власників та дизайнерів важливішою є помітність, яскраві кольори та гра барв, а для інших – елемент таємничості та ніжні приглушені тони. У першому випадку будуть задіяні потужні прожектори, спрямовані на фронтальну частину будівлі – з тротуару, з фронтона, зі стовпів, що стоять поруч, і т.д. Залежно від обраної яскравості, підсвічування (а разом з ним і реклама) може бути більш-менш агресивним. У свою чергу, м'яке підсвічування найчастіше організовується з використанням світлодіодного гнучкого неону, який прокладається таким чином, щоб повторювати архітектурні форми оздоблення будівлі. У результаті виходить досить цікава та багата картина, що представляє фасад зовсім іншим чином.

Дуже часто архітектурне підсвічування застосовується для оформлення:

1. Заміських приватних будинків, а також міні-готелів.
2. Міських будівель. Це можуть бути адміністративні установи, пам'ятки архітектури, офіси великих компаній, магазини тощо.
3. Мостів.

До 95% всіх використовуваних приладів будуть постійно перебувати на відкритому повітрі, на вулиці. Як мінімум, це означає регулярний вплив різного роду природних явищ, а для тих виробів, які розташовуються на

невеликій висоті, необхідно також враховувати ймовірність руйнівних дій вандалів та елементарний людський фактор. Таким чином, будь-який світильник, який застосовується у зазначених умовах, повинен бути надійно захищеним від найбільш типових небезпек. Не завжди загроза приладу виходить від передбачуваних джерел, проте підвищувати його «опірність» до зовнішніх чинників обов'язково потрібно [7]. Найперший рівень – це використання потужних світлодіодних світильників, що мають клас захисту IP65 та вище. Ця проста міра вирішує переважну частку проблем, пов'язаних з погодними впливами, та дозволяє сконцентруватися на захисті від вторинних, викликаних діяльністю людини. Найчастіше такий підхід повністю себе виправдовує, а єдиним його мінусом можна назвати вартість освітлювальних виробів подібного роду, яка помітно вище, ніж у побутових моделей.

Безумовно, при створенні проекту освітлювального рішення для будівлі враховується й зручність обслуговування. Чим більш довговічними будуть джерела світла, тим простіше зважитися на їх розміщення у важкодоступних місцях. Будучи впевненими у тому, що якісний світлодіодний світильник ефективно проіснує на своєму місці та буде виконувати покладені на нього обов'язки протягом п'яти-семи років, дизайнери дозволяють собі встановлювати його там, де це дійсно потрібно, а не там, звідки зручно змінювати комплектуючі [1, 2, 19]. Серед особливостей освітлювальних приладів для даних цілей не можна не згадати адаптивність. На відміну від побутових виробів, які активно експлуатуються вдома та у офісах протягом усього дня, від архітектурного підсвічування у світлий час доби немає жодного сенсу. Його час роботи – ніч та вечір, коли на тлі темного неба створюється необхідний контраст. Оскільки тривалість дня на піку взимку та влітку відрізняється у два рази, число робочих годин для обладнання також необхідно балансувати. Це можна робити трьома способами:

- повністю вручну, вмикаючи та вимикаючи обладнання у необхідний час та орієнтуючись за погодою та освітленістю вулиці;
- з використанням програмованого контролера, який у автоматичному режимі буде активувати підсвічування відповідно до попередньо встановленого графіку;
- за допомогою датчиків, які самостійно будуть вмикати прилади, беручи до уваги не тільки час доби, але й освітленість простору – у тому числі, навіть удень за великої кількості опадів або у похмуру погоду.

Серед нетехнічних аспектів організації архітектурного освітлення назвемо не менш важливою єдність концепції у рамках вулиці та міста. Яскраве підсвічування однієї-єдиної будівлі на тлі інших, які стоять у тіні, виглядає похмуро. Зазвичай центральні райони міст майже повністю складаються з історичної забудови, яку необхідно одночасно берегти та підносити красиво, формуючи «обличчя» кожної вулиці [9]. У таких місцях часто вже є досить потужні архітектурні прожектори, які освітлюють будівлі у цілому, а тому важливо вплести у існуючу канву нові світлотехнічні вироби якомога органічніше.

До того ж, слід завжди дотримуватися й правил організації зовнішнього освітлення у цілому. Воно не повинно давати зайвого світла на проїжджу частину, сліпити водіїв та пішоходів, відволікати або дратувати мерехтінням. Вітрини, дорога, тротуари та інші пішохідні зони – все це у ідеалі мало б не змінювати загальний вигляд будинку, який має історичну або архітектурну цінність. На жаль, зараз нерідко можна побачити, що новий торгово-розважальний центр освітлений куди більш яскраво, аніж старовинна будівля з ліпниною, через що друга помітно програє зовні. Боротися з цим потрібно аж ніяк не заборonoю освітлення комерційних будівель, а інженерною майстерністю та хитрістю [3-18]. Застосовуючи професійні знання та ряд навичок щодо практичного застосування гнучкого неону, вуличних світильників та прожекторів, можна домогтися того, щоб торгова будівля, яка

стоїть поряд, виглядала лише фоновим підсвічуванням для основної, раритетної. Такі прийоми дозволяють не тільки створити ефектне видовище, але й істотно заощадити енергію за рахунок розуміння того, які ділянки історичної будівлі вже освітлені долітаючими до нього променями комерційного. У співпраці світлотехніків з архітекторами та галузевими інженерами можна реалізовувати найсміливіші проекти без втрат для власників усіх будівель на вулиці та зі збереженням естетичної привабливості стародавніх пам'яток історії. Як було сказано вище, саме оточення додає до загальної картини сприйняття цілісності, а тому при ретельному опрацюванні концепції архітектурного освітлення не можна замикаватися тільки на будівлі, повністю ігноруючи прилеглу територію. На великих вулицях тут постійно будуть проходити люди, а тому необхідно створити умови для привернення їхньої уваги до світлової композиції будівель.

Найперше дія фахівців – це аналіз будівлі повністю. Потім приймається попереднє рішення про концепцію освітлення та починається несподіваний етап – приховування недоліків. Повна реконструкція будівлі – справа клопітка, трудомістка та недешева, а тому на фасаді може зберігатися відбита ліпнина, штукатурка, що обсипалася, залишки фарби у кілька шарів [3-17]. Все це необхідно так чи інакше екранувати, сконцентрувавшись на інших деталях. Щоб досягти такого ефекту, майстри продумують таке розташування матричних прожекторів, при якому їхні промені будуть хрестоподібно перетинатися, вихоплюючи з темряви відреставровані ділянки, а менш презентабельні занурюючи у напівтемряву. Або ж навпаки, джерело світла ставлять безпосередньо біля зруйнованих елементів, завдяки чому глядач опиняється частково засліпленим і не бачить об'єкта прямо поруч з прожектором.

На рівні тротуарів привабливості екстер'єру будівель надають не тільки клумби, але й лаконічні вуличні стовпчики. Найчастіше вони виконані у тій

самій кольоровій гамі, що й підсвічування будівлі, завдяки чому площа сприйманої оком композиції автоматично збільшується [6, 10]. Разом з тим, прийомів створення світлової картини будівлі за участю розташованих поруч об'єктів існує два.

Перший з них передбачає збереження зовнішнього вигляду споруди незалежно від часу доби та освітленості. Він придатний для невисоких історичних будівель, які мають не більше трьох поверхів. Вважається, що їхній вигляд не повинен залежати від обставин, а монументальність та цінність підкреслюються незмінністю протягом тривалого часу.

Другий прийом повністю протилежний. Він використовується для більш сучасних будівель некомерційного призначення, які зазвичай виходять на головні вулиці міст. Тут навпаки використовується максимальний контраст нічного та денного образу міста, що дозволяє оцінити усе різноманіття архітектурних форм. Однією з відмінних рис даного прийому є використання світлофільтрів, які надають світінню світлодіодних лампочок різні відтінки – у тому числі, динамічні (якщо використовується відповідне обладнання).

Що стосується принципів організації підсвічування з суто технічної сторони, то фахівці зазвичай спираються на три базових типи, періодично комбінуючи не більше двох з них у рамках одного проекту [3, 4]. Розглянемо їх далі.

Акцентоване та локальне освітлення. Найчастіше основу першого становлять прожектори та вуличні світильники для підсвічування фасадів. До завдання цих приладів входить спрямоване світіння на несучі частини будівлі. Локальне освітлення реалізується з використанням окремих невеликих приладів, які встановлюються на самій будівлі між вікнами та на декоративних карнизах. Цей тип підсвічування здійснюється за допомогою світильників, які розташовуються на фасаді будівлі або поруч з нею. Так можна акцентувати увагу на найбільш значущих архітектурних елементах

будівлі. Це можуть бути, наприклад, карнизи, балкони, барельєфи, таблички, віконні склепіння тощо. Крім усього іншого цей тип освітлення дозволяє економити електроенергію, проте зловживати ним не варто, так як велика кількість світильників напевно зіпсує зовнішній вигляд будівлі [3, 4].

Заливаюче освітлення. Даний принцип передбачає більш розсіяне, але потужне світло, що дається іншим типом прожекторів. Дуже часто такі вироби знаходяться не на землі, а на ліхтарних стовпах, що дозволяє зробити підсвічування значно рівномірнішим, без вертикальних тіней, що падають вгору від ліпнини та оздоблення. Заливаюче освітлення більш прийнятне на великих об'єктах, а дрібні будівлі у такому світлі скоріше губляться та не показують всієї своєї пишноти. У цьому випадку освітлювальні прилади (прожектори різної потужності) розташовуються на досить-таки значній відстані від будівлі. Для їх маскування використовуються дерева, декоративні чагарники, малі архітектурні форми. Фасад у цьому випадку освітлюється повністю. Застосовується подібне архітектурне підсвічування для великих будівель, закритих ночами. Використання спрямованих пучків світла дозволяє вигідно виділити елементи споруди [4, 13]. Дуже часто так оформляють історичні пам'ятки зодчества, музеї, адміністративні будівлі та храми.

Приховане освітлення. На сьогодні це найпоширеніший екстер'єрний тренд у західних країнах. Механізм реалізації такого освітлення передбачає установку вуличних настінних світильників у таких місцях, де вони будуть максимально невидимі. Переслідується мета створити освітлення, яке нібито виходить з самої кладки будівлі. Поряд з повноцінними приладами, сюди ж відноситься використання гнучкого неону та світлодіодної стрічки. Вони закладаються уздовж горизонтальних елементів та зовсім не видні спостерігачам [3, 4, 14]. При цьому зв'яз їх допомогою можна облаштувати цілу світлову виставу або організувати світломузику просто на будівлі, використовуючи RGB-контролери.

Контурне освітлення. Це архітектурне освітлення будівель передбачає виділення контурів. При цьому підкреслені можуть бути всі грані споруди або краю окремих елементів: дахи, фасаду тощо. Для організації цього виду підсвічування можуть використовуватися лінійні світлодіодні світильники, трубки, а також неонові лампи. Оформлення в цьому випадку виходить м'яким і ненав'язливим [3, 4, 14, 15].

Фонова заливка. Таке архітектурне освітлення використовується в основному для будівель, що представляють собою культурну або історичну цінність. У цьому випадку виділяється фон і бічні частини споруди. Дуже часто так оформляють будівлі з колонами. Цей вид підсвічування робить будівлю суворішою, монументальнішою і величнішою. Самі освітлювальні прилади повністю виключаються з поля зору, а їх установка не псує елементи конструкції будівлі.

Світлові фасади. Повністю засклені фасади будівель в наш час не рідкість. Висвітлити таку споруду зовні практично неможливо, оскільки скло просто-напросто поглинає світло [3, 4, 16]. Дизайнери знайшли дуже цікаве рішення оформлення таких будівель. Архітектурне освітлення фасадів у цьому випадку виконується не зовні, а зсередини будівлі. Обладнання в цьому випадку монтується на стіни або стелі приміщень. Світловий потік прямує на скло під різними кутами, створюючи приголомшливий ефект.

Динамічне освітлення. У цьому випадку декоративний ефект досягається за рахунок періодичної зміни інтенсивності, кольору, змішування відтінків світла [3-5]. При цьому найчастіше використовується світлодіодне архітектурне освітлення. Сучасне обладнання дозволяє отримувати приголомшливі за красою динамічні ефекти. Це може бути, наприклад, трансляція відеоряду або реклама.

У роботі фахівців з архітектурного підсвічуванні будівель дуже важливо розуміти початкову ідею історичних пам'яток, щоб не знищити її, а навпаки підкреслити. Маючи облицювання з різних матеріалів з відмінними

оптичними властивостями, монтажники підбирають прожектори з відповідними розсіювачами або відбивачами, коригують кути розльоту променів. У результаті старовинна будівля зберігає початковий дух, але при цьому візуально виглядає не менш цікаво, аніж футуристичні новобудови.

При створенні підсвічування фахівці керуються цілою низкою різних факторів [3, 4]:

1. В обов'язковому порядку враховуються всі архітектурні особливості будівництва: стиль екстер'єру, геометрія конструктивних елементів тощо.

2. Береться до уваги розташування самої будівлі. Як саме воно буде виглядати на тлі інших будинків - важливо. Крім усього іншого розробляється проект освітлення прилеглої до будівлі території. Так досягається контраст між фасадом будівлі та тлом.

3. Ретельно підбирається обладнання, за допомогою якого буде здійснено архітектурне освітлення. Для створення ефектного вигляду необхідно правильно вибрати тип світильників і вірно розрахувати їх кількість. Те, яке обладнання буде використано, залежить від призначення будівлі. Наприклад, великі торгові центри в рекламних цілях повинні бути освітлені досить яскраво [3, 4]. Для офісних споруд більше підходить стримане, ненав'язливе оформлення, що підкреслює статус будівлі. Дуже складно реалізується архітектурне освітлення різного роду пам'яток та історичних будівель. У цьому випадку найголовніше - зберегти початкову композиційну ідею зодчих. При створенні проекту повинні бути враховані всі можливі характеристики обладнання: рівень світловіддачі, потужність ламп, їх колірна температура, а також психологічні характеристики кольору.

4. При розробці проекту звертають увагу на те, які саме матеріали були використані для оздоблення фасаду та інших конструктивних елементів споруди. Наприклад, гляцеві, дзеркальні та металеві поверхні значно знижують якість освітлення, оскільки в них відображається використане для

оформлення обладнання. На фасаді та інших конструктивних елементах споруди виникають яскраві сліплячі плями, що порушують гармонію такого дивовижного оформлення, як архітектурне освітлення будівель.

5. Ретельно вибирається і місце розташування обладнання, адже, як і будь-які інші конструкції, світильники потребують обслуговування та ремонту. Вони монтуються таким чином, щоб у разі потреби до них було легко дістатися.

6. Зрозуміло, проект повинен бути складений з дотриманням всіх належних норм безпеки для перехожих, людей, що працюють всередині будівлі, а також обслуговуючого обладнання персоналу.

7. Визначаючи місце монтажу світильників, необхідно враховувати і можливість вандалізму.

8. Архітектурне підсвічування фасаду має бути реалізоване так, щоб світло не зліпило очі водіїв машин, що проїжджають повз будівлю.

Оформлення виконується у декілька етапів [3, 4, 6, 7].

1. Визначається концепція освітлення, виконується моделювання світлодизайну з урахуванням усіх архітектурних особливостей споруди.
2. Розробляється світлотехнічний проект, проводиться розрахунок яскравості ламп, їх потужності тощо.
3. Розробляється електротехнічний проект.
4. Закуповується і монтується обладнання.

Виходячи з наведеного, що архітектурне освітлення – це не просто підсвічування, це свого роду мистецтво маневрувати між естетикою та технологічністю виконання [3-18]. На кожному етапі перед фахівцями постають питання, які вирішуються нетривіальним чином, відповідно до того, як виглядає сама будівля. Завдання інженерів полягає у тому, щоб продемонструвати переваги будинку та приховати його недоліки виключно освітлювальними прийомами – й багато таких технік мають чимало спільного з тими, які застосовуються професіоналами кіноіндустрії при

зйомці фільмів. Правильно вибудоване освітлення покликане змінити будівлю на краще, вдихнути у неї друге життя, повернути колишню архітектурну велич з використанням сучасних технічних засобів.

Останнім часом споживачі все частіше використовують світлодіодне обладнання, популярність якого пояснюється такими перевагами: невисоке споживання енергії, довговічність і економічна вигода. До таких приладів відносяться не тільки лампочки, ліхтарики і світильники, але і світлодіодні стрічки, а також прожектори [7, 8, 11, 12].

Світлодіодним LED прожектором називається сучасний прилад зовнішнього освітлення з відмінною передачею кольору [1, 2, 19].

Такі прилади призначені для сучасного міста, вони підкреслюють красу вулиць, мостів, історичних будівель, використовуються для парковок, рекламних щитів, складських територій [19].

Крім того, світлодіодні прожектори споживачі можуть купувати для приватних будинків і заміських котеджів.

Конструкція і принцип роботи світлодіодних прожекторів

LED прожектори складаються з таких основних елементів [1, 2]:

- надпотужний світлодіод;
- блок живлення;
- рефлектор;
- радіатор.

Всі перераховані елементи поміщаються в литий корпус з алюмінієвого сплаву, який має високу теплопровідність. Завдяки цьому від світлодіодного модуля забезпечується відведення тепла. Відбивач виготовляється з металу, у вакуумі наноситься алюмінієве напилення, яке створює рівний потік світла із заданими кутами розсіювання. Так забезпечуються споживчі властивості світлодіодних прожекторів. Силіконові ущільнювачі на корпусі необхідні для захисту електронних компонентів приладу від проникнення вологи. Такі моделі прожекторів призначені для експлуатації на вулиці [19].

Для дешевих прожекторів маловідомих виробників не характерна наявність вологозахисту [12]. Якість прожектора можна побачити навіть за зовнішнім виглядом. Наприклад, спеціальне порошкове покриття корпусу проти корозії та інших механічних пошкоджень.

Всередині алюмінієвого корпусу також розташовується джерело живлення прожектора, завдяки якому забезпечується стабільна і надійна робота приладу в широкому діапазоні напруги під час всього терміну експлуатації (110/240 В) [12, 19].

Часто зустрічаються моделі світлодіодних прожекторів з датчиками освітленості або датчиком руху. Бувають також моделі, в яких є обидва види датчиків. Для якісних прожекторів характерні миттєве включення і відсутність мерехтіння під час роботи. Захист від короткого замикання і подвійна ізоляція проводів в цих приладах забезпечують повну електричну безпеку. Завдяки наявності поворотного кронштейну можна легко встановити прожектор і направити світловий потік в потрібному напрямку .

Світлодіодні LED прожектори не вимагають спеціального додаткового обслуговування, завдяки чому мінімізуються фінансові витрати споживачів.

Термін експлуатації цих приладів може бути від 35000 до 50000 годин. Це перевищує термін служби галогенних прожекторів в десятки разів.

1.1 Види світлодіодних прожекторів

Сьогодні можна перерахувати кілька видів світлодіодних прожекторів, які поширені серед населення, це: ґрунтові, матричні, підводні, лінійні та для ландшафтного підсвічування [3, 4, 12].

Ці прилади відрізняються сферою застосування і рівнем захисту. Крім того прожектори можуть відрізнятися за напругою живлення: 12 В, 24 В або 220 В, які адаптовані до міської електричної мережі.

Найпоширенішими кольорами прожекторів є білий (холодний і теплий),

жовтий, а також зелений, синій і червоний, при змішуванні таких трьох компонентів можна отримати будь-який необхідний колір [3, 4, 12, 17].

Переваги світлодіодних прожекторів [12, 17, 18].

1. Тривалий термін служби. Звичайний LED-прожектор може використовуватися щонайменше 50 тисяч годин. Такий показник значно перевищує термін служби галогенових ламп. Доведено, що чим довше працює освітлювальний прилад, тим менше часу та грошей доведеться витратити на його заміну.
2. Мінімальні витрати енергії. Споживання електроенергії такого приладу на порядок нижчий, ніж у галогенових та ламп розжарювання.
3. Висока яскравість. Вся енергія, яку отримує світлодіод використовується лише на освітлення, а не на розігрівання лампи, як це буває з іншими різновидами ламп.
4. Можливість створювати спрямований пучок світла. Завдяки цьому можна спрямувати світло саме туди, де це максимально необхідно. Інші види ламп цим похизуватися не можуть.
5. Можливість змінювати колір підсвічування.
6. Відсутність нагрівання приладу. Завдяки цьому їх можна залишати увімкненими тривалий час навіть поряд з іншими предметами і це не спровокує їх перегріву та пожежі.
7. Стійкість до механічних пошкоджень. Це дозволяє використовувати світлодіодні прожектори на вулиці.

Недоліки світлодіодних прожекторів [12, 17, 18]. Не зважаючи на велику кількість переваг, є і деякі недоліки, про які варто пам'ятати, вибираючи такий вид освітлення. Головним мінусом можна назвати високу вартість продукції. Але, якщо врахувати тривалий термін їх використання та енергозберігаючі якості, то можна зробити висновок, що витрати швидко окупляться. Ще одним недоліком є необхідність встановлення блоку

живлення, який має значні розміри, а замаскувати його надто складно. Також користувач може зіткнутися з труднощами під час заміни світлодіоду.

1.2 Висновки по розділу 1

1. Розглянуто архітектурне освітлення, його різновиди, засоби, задачі, які воно переслідує, особливості урахування інтер'єру і екстер'єру.

2. Розглянуто основні принципи проектування архітектурного освітлення у великих містах зі значною кількістю старовинних будівель, пам'ятників архітектури тощо.

3. Розглянуто основні типи світлових приладів, що застосовуються для задач архітектурного освітлення, зокрема, приділено увагу світлодіодних прожекторам, розглянуто їх недоліки і переваги у експлуатації.

2 СВІЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд світлотехнічних рішень для світлодіодних світильників прожекторного класу від фірми Khatod Optical Solution for LED Lighting

Метою даного розділу є послідовний розгляд сучасних світлодіодних рішень від провідних виробників світлотехнічної продукції [17]. Нашою роботою є вивчення продукції корпорації Khatod Optical Solution, яка пропонує готові рішення на базі світлодіодних модулів. В даному розділі аналізуються фотометричні тести, які є результатом атестації вказаною корпорацією власної продукції. Наступні таблиці і рисунки, наведені для даного підрозділу будуть послідовно надаватись до кожної номенклатурної одиниці продукції, яку ми включили до розгляду, проводячи наш аналіз застосовності світлодіодних модулів до задач з проектування світлового приладу, поставлених в даному дипломному проектуванні. Всі характеристики світлодіодів взяті з відкритого джерела – офіційного сайту продукції. Кожна номенклатурна одиниця розглядається у даному дипломному проекті як варіант джерела світла для проектного світильника, для якого у подальшому буде розроблено конструкцію, адаптовану саме під цей тип джерела і технологію виготовлення елементів конструкції. Нижче в даному підрозділі представляються всі розглянуті варіанти джерела світла під проєктований світильник. Фотометричні тести, використані нами надають вичерпну технічну інформацію, яка стосується як конструкційних і світлотехнічних особливостей варіантів джерела світла, так і експлуатаційних рекомендацій (температурні режими випробування різних видів виконання комплектуючих).

Варіант 1. Зведені відомості про LED-модулі для проектного світильника (табл. 2.1 – 2.4). Оптика KEPL1359A36 під LUMILEDS LUXEON H50-1 [17]: загальні характеристики: КСС, колірність пучка променів на геометрія виробу представлені на рисунку 2.1 – 2.2.

Таблиця 2.1 – Загальні відомості про оптику джерела, Варіант 1

Parameter	Symbol	Value	Unit
Lens/Reflector Model	-	KEPL1359A36	-
Materials (More into on page 9)	-	PMMA	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	LUMILEDS LUXEON H50-1	-
Number of Sources	N	1	-
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V_F	-	V
Driving Current	I_F	-	mA
Nominal Flux	Φ	65x1	lm

Таблиця 2.2 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	$^{\circ}\text{C}$
Date	-	2013-Sep-11	-

Таблиця 2.3 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	65	lm
Max Intensity	$I_{\max}$	139	cd
Max Illuminance at 5m	$E_{\max}$	6	lx
C-Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\varphi_c$	38	-
γ -Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\varphi_{\gamma}$	36	-
C-Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\varphi_{c10\%}$	62	-
γ -Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\varphi_{\gamma10\%}$	59	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

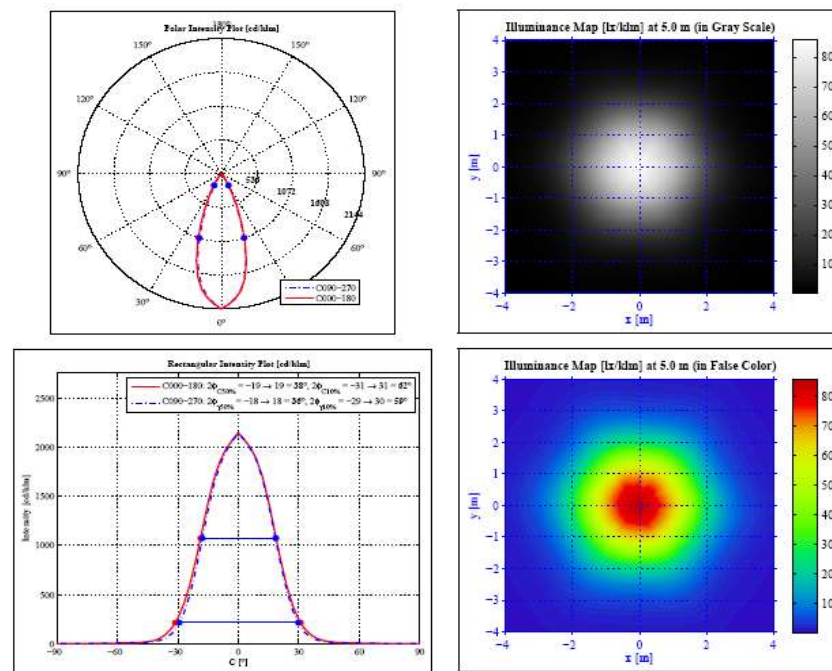


Рисунок 2.1 – Крива сили світла і колірність пучка променів

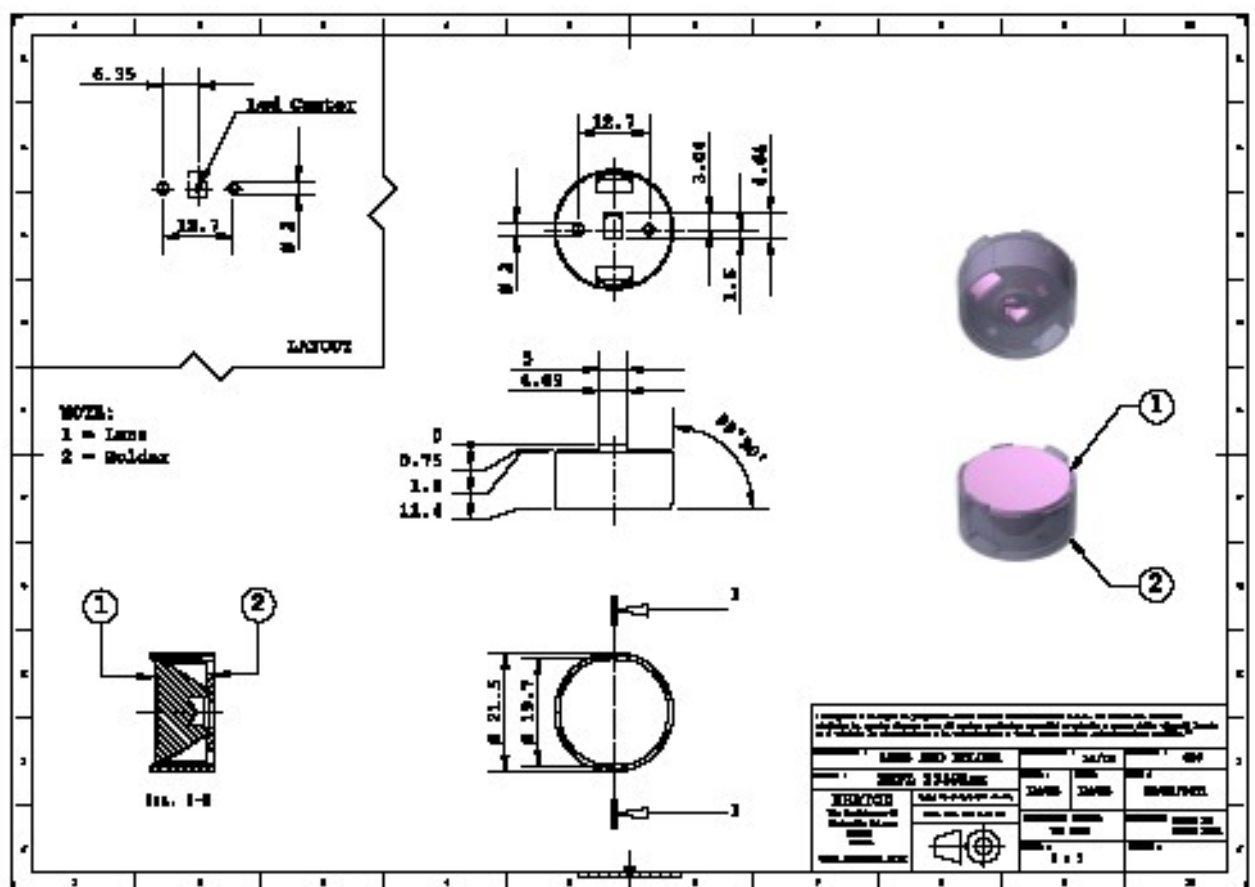


Рисунок 2.2 – Геометрія виробу

Таблиця 2.4 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів

Material	T _{op}	T _{stg}
PMMA	-40 ⁰ ... 85 ⁰ C	-40 ⁰ ... 85 ⁰ C
PC	-40 ⁰ ... 120 ⁰ C	-40 ⁰ ... 120 ⁰ C
PC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	-40 ⁰ ... 120 ⁰ C	-40 ⁰ ... 120 ⁰ C
APEC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	-40 ⁰ ... 180 ⁰ C	-40 ⁰ ... 180 ⁰ C
ABC	-35 ⁰ ... 70 ⁰ C	-35 ⁰ ... 70 ⁰ C

Варіант 2. Зведені відомості про LED-модулі для проєктованого світильника (табл. 2.5 – 2.8). Оптика KEPL1359A36 під EVERLIGHT SHUEN [17]: загальні характеристики: КСС, колірність пучка променів на геометрію виробу представлені на рисунку 2.3 – 2.4.

Таблиця 2.5 – Загальні відомості про оптику джерела

Parameter	Symbol	Value	Unit
Lens/Reflector Model	-	KEPL1359A36	-
Materials (More into on page 9)	-	PC, PMMA	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	EVERLIGHT SHUEN	-
Number of Sources	N	1	-
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V _F	-	V
Driving Current	I _F	350	mA
Nominal Flux	Φ	120x1	lm

Таблиця 2.6 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	⁰ C
Date	-	2012-Mar-27	-

Таблиця 2.7 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	120	lm
Max Intensity	$I_{\max}$	311	cd
Max Illuminance at 5m	$E_{\max}$	12	lx
C-Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\varphi_c$	34	-
γ -Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\varphi_\gamma$	32	-
C-Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\varphi_{c10\%}$	56	-
γ -Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\varphi_{\gamma10\%}$	51	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

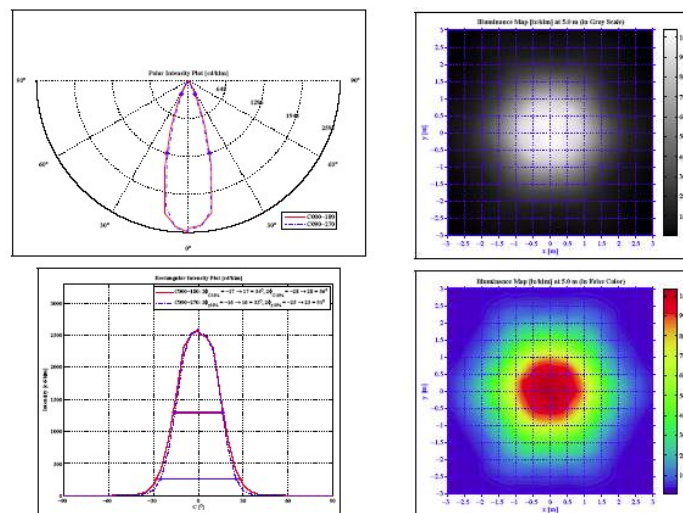


Рисунок 2.3 – EVERLIGHT SHUEN: КСС і розподіл світлового рефлекс за колірністю

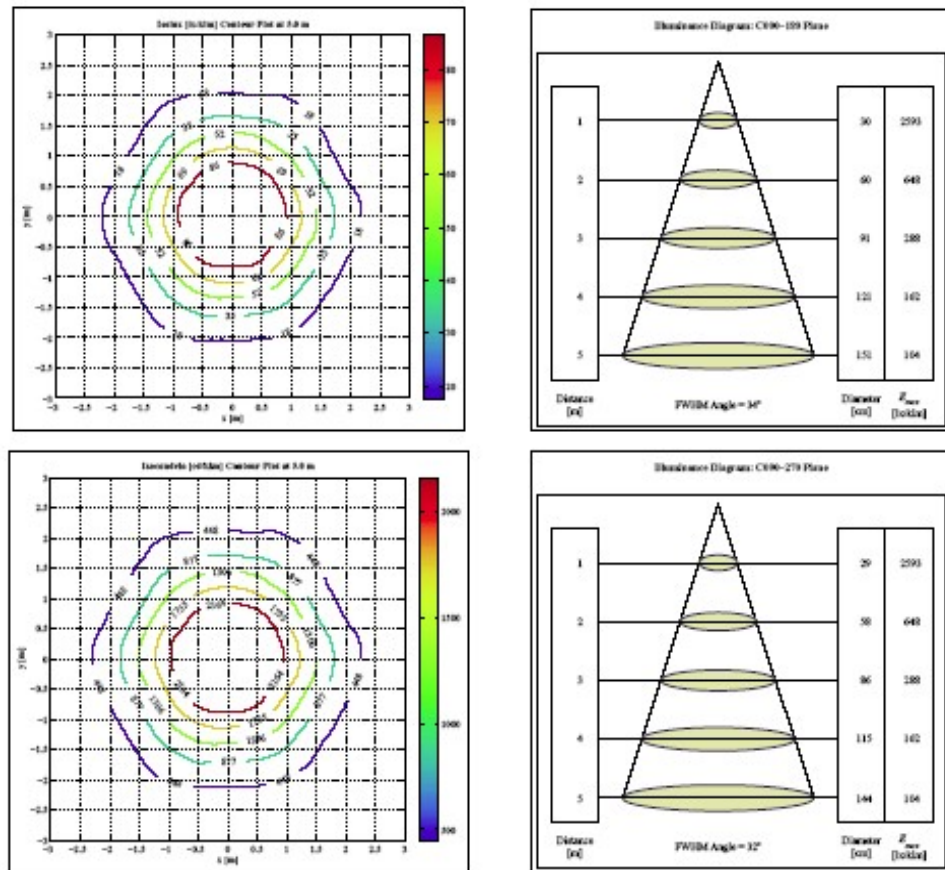


Рисунок 2.4 –EVERLIGHT SHUEN: Розподіл освітленості

Таблиця 2.8 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів)

Material	T_{op}	T_{stg}
PMMA	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$
PC	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$

Варіант 3. Зведені відомості про LED-модулі для проєктованого світильника (табл. 2.9 – 2.12). Оптика KEPL1359A36 під LUXEON REBEL ES: загальні характеристики: КСС, колірність пучка променів на геометрію виробу представлені на рисунку 2.5, 2.6.

Таблиця 2.9 – Загальні відомості про оптику джерела

Parameter	Symbol	Value	Unit
Lens/Reflector Model	-	KEPL1359A36	-
Materials (More into on page 9)	-	PC, PMMA	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	LUXEON REBEL ES	-
Number of Sources	N	1	-
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V_F	-	V
Driving Current	I_F	700	mA
Nominal Flux	Φ	230x1	lm

Таблиця 2.10 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	$^{\circ}\text{C}$
Date	-	2012-Mar-27	-

Таблиця 2.11 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	230	lm
Max Intensity	$I_{\max}$	609	cd
Max Illuminance at 5m	$E_{\max}$	24	lx
C-Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\phi_c$	32	-
γ -Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\phi_{\gamma}$	32	-
C-Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\phi_{c10\%}$	57	-
γ -Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\phi_{\gamma10\%}$	53	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

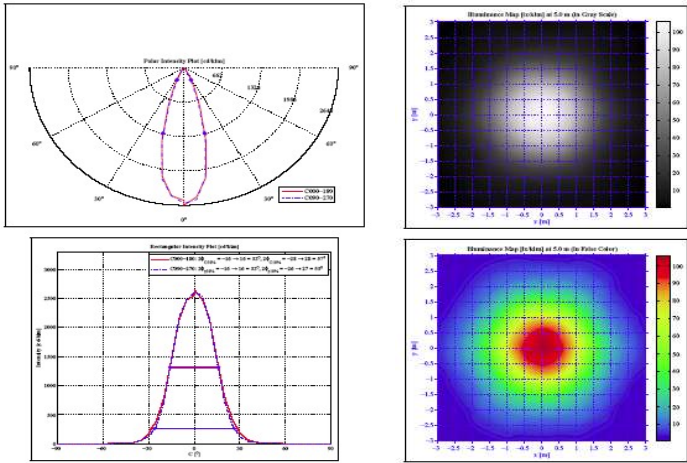


Рисунок 2.5 – LUXEON REBEL ES: КСС і розподіл світлового рефлекса за колірністю

Таблиця 2.12 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів

Material	T _{op}	T _{stg}
PMMA	-30 ⁰ ...85 ⁰ C	-30 ⁰ ...85 ⁰ C
PC	-30 ⁰ ...85 ⁰ C	-30 ⁰ ...85 ⁰ C

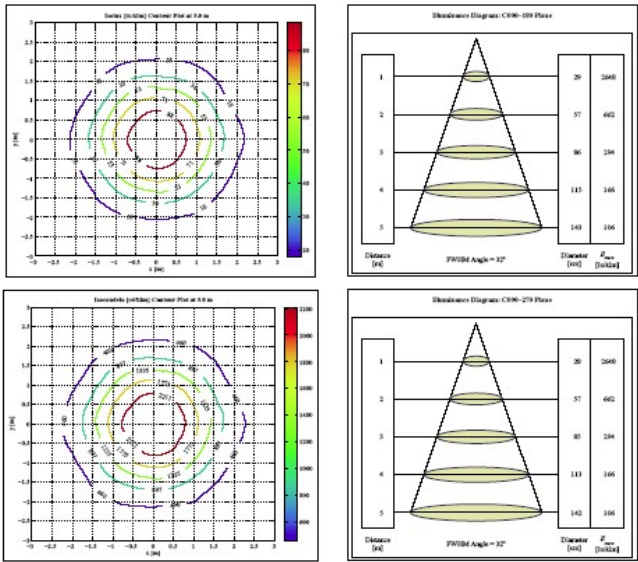


Рисунок 2.6 – LUXEON REBEL ES. КСС і розподіл світлового рефлекса за колірністю

Варіант 4. Зведені відомості про LED-модулі для проєктованого світильника (табл. 2.13 – 2.16). Оптика KEPL1359A10 під LUMILEDS LUXEON H50-1 [17]: загальні характеристики: КСС, колірність пучка променів на геометрію виробу представлені на рисунку 2.7 – 2.8.

Таблиця 2.13 – Загальні відомості про оптику джерела

Parameter	Symbol	Value	Unit
Lens/Reflector Model	-	KEPL1359A20	-
Materials (More into on page 9)	-	PC, PMMA	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	LUMILEDS LUXEON H50-1	-
Number of Sources	N	1	-
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V_F	-	V
Driving Current	I_F	700	mA
Nominal Flux	Φ	65x1	lm

Таблиця 2.14 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	$^{\circ}\text{C}$
Date	-	2013-Sep-11	-

Таблиця 2.15 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	65	lm
Max Intensity	I_{max}	313	cd
Max Illuminance at 5m	E_{max}	13	lx
C-Viewing Angle at 50% I_{max}	$2\phi_c$	23	-
γ -Viewing Angle at 50% I_{max}	$2\phi_\gamma$	23	-
C-Viewing Angle at 10% I_{max}	$2\phi_{c10\%}$	43	-
γ -Viewing Angle at 10% I_{max}	$2\phi_{\gamma10\%}$	43	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

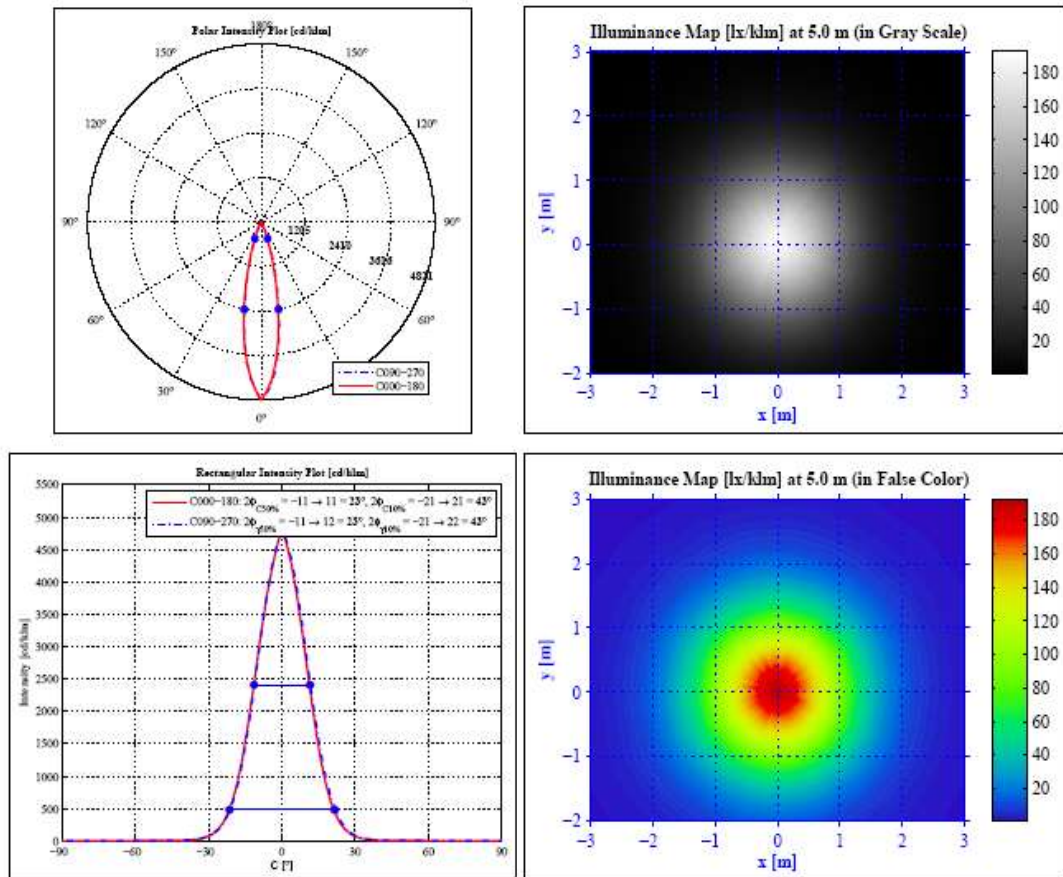
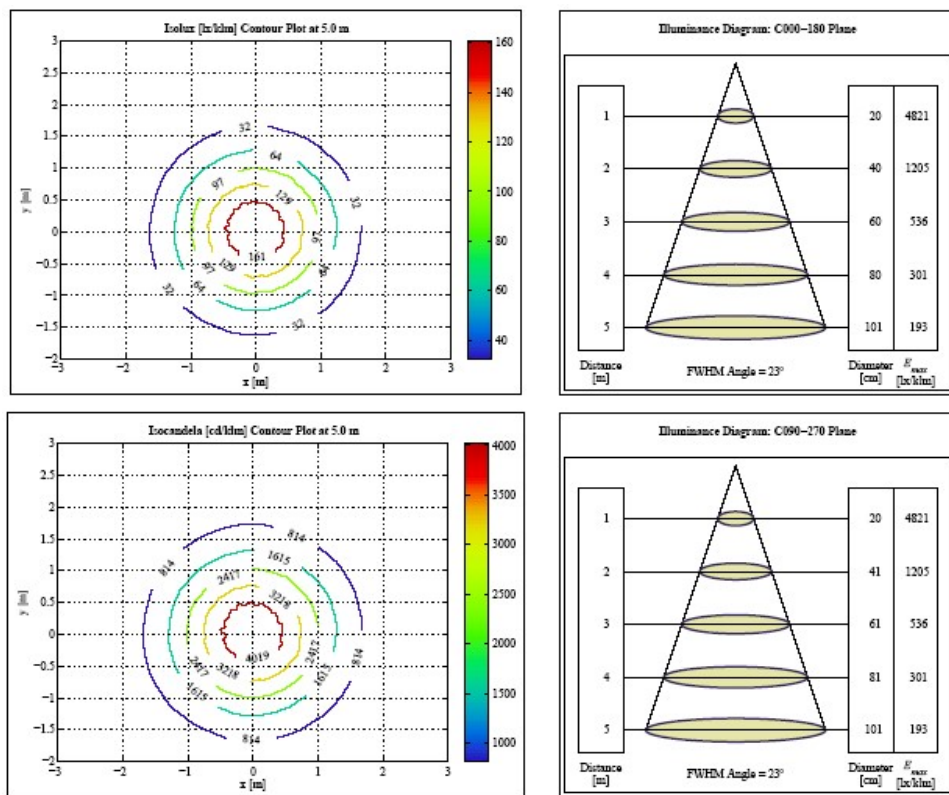


Рисунок 2.7 – LUMILEDS LUXEON H50-1: КСС і розподіл світлового рефлекса за колірністю

Таблиця 2.16 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів

Material	T_{op}	T_{stg}
PMMA	$-40^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 85^0 \text{ C}$
PC	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$
PC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$
APEC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	$-40^0 \dots 180^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 180^0 \text{ C}$
ABC	$-35^0 \dots 70^0 \text{ C}$	$-35^0 \dots 70^0 \text{ C}$



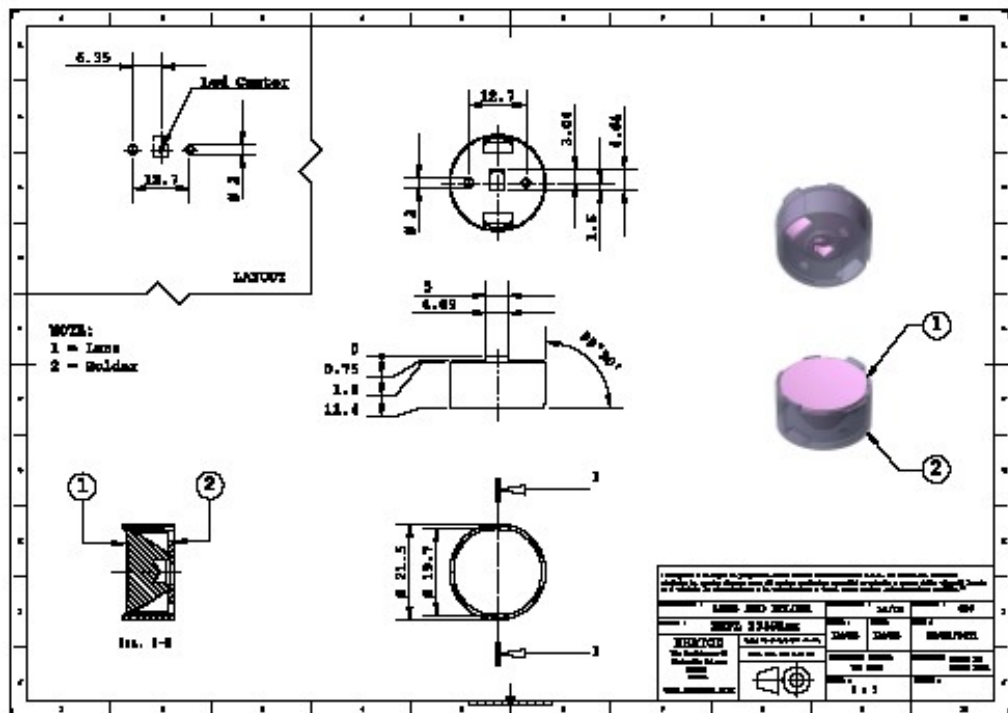


Рисунок 2.9 – Оптика KEPL1359A20 під LUMILEDS LUXEON H50-1.

Креслення

Таблиця 2.17 – Загальні відомості про оптику джерела

Parameter	Symbol	Value	Unit
1	2	3	4
Lens/Reflector Model	-	KEPL1359A10	-
Materials (More into on page 9)	-	PC, PMMA	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	LUXEON REBEL ES	-
Number of Sources	N	1	-
1	2	3	4
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V_F	-	V
Driving Current	I_F	350	mA
Nominal Flux	Φ	130x1	lm

Таблиця 2.18 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	⁰ C
Date	-	2012-Mar-27	-

Таблиця 2.19 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	130	lm
Max Intensity	$I_{\max}$	3176	cd
Max Illuminance at 5m	$E_{\max}$	127	lx
C-Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\phi_c$	10	-
γ -Viewing Angle at 50% $I_{\max}$	$2\phi_\gamma$	10	-
C-Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\phi_{c10\%}$	17	-
γ -Viewing Angle at 10% $I_{\max}$	$2\phi_{\gamma10\%}$	17	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

Таблиця 2.20 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів)

Material	T_{op}	T_{stg}
PMMA	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$
PC	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-30^0 \dots 85^0 \text{ C}$

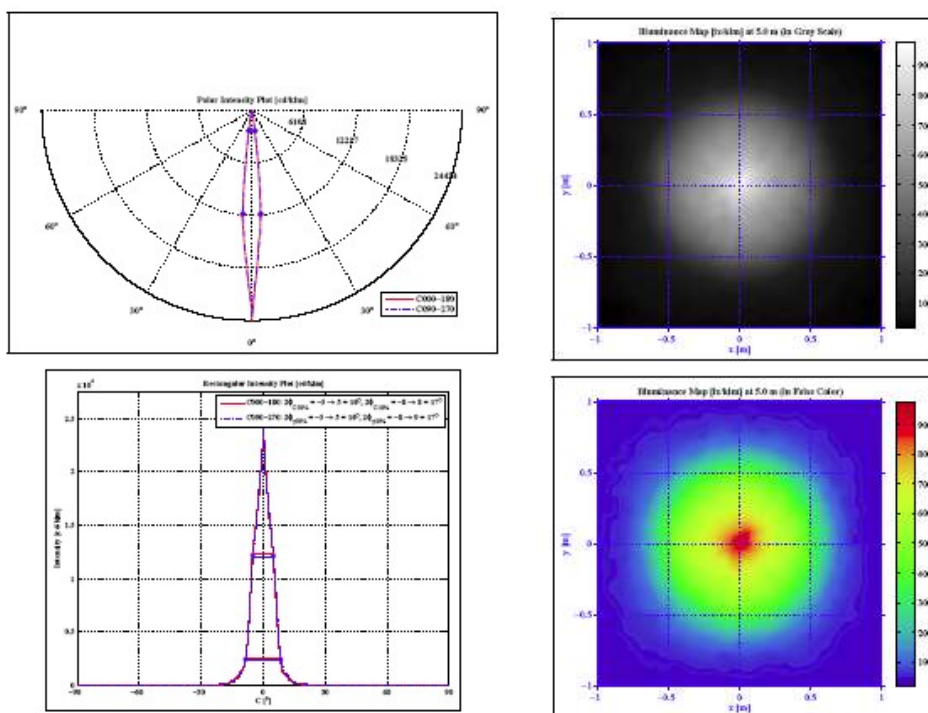


Рисунок 2.10 – LUXEON REBE: КСС і розподіл світлового рефлекса за колірністю

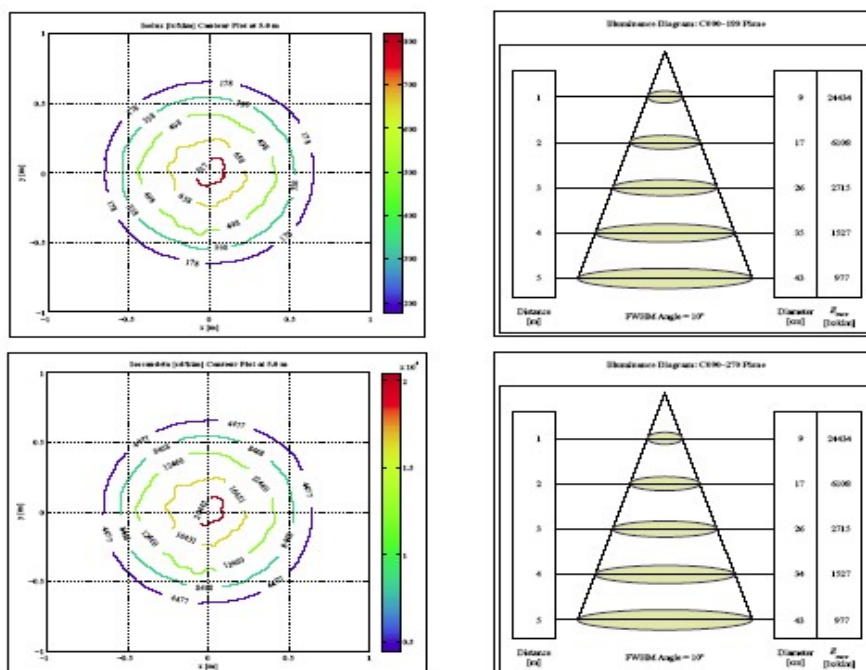


Рисунок 2.11 – Оптика KEPL1359A10 під LUXEON REBEL. Розподіл освітленості

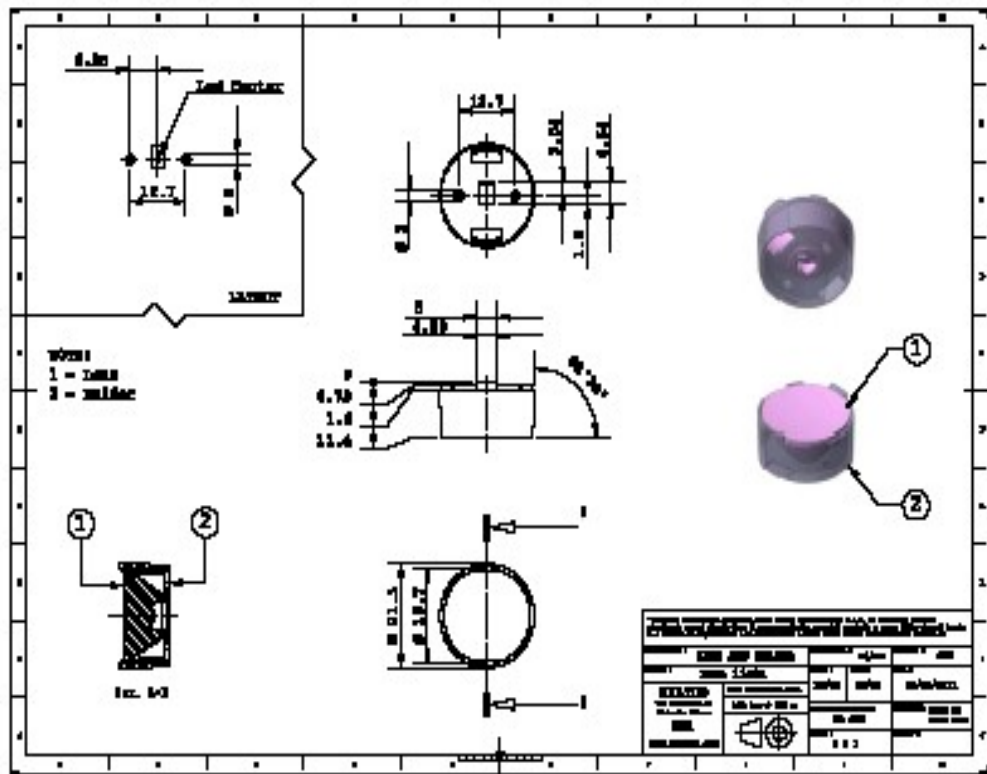


Рисунок 2.12 – Оптика KEPL1359A10 під LUXEON REBEL. Креслення

Варіант 5. Зведені відомості про LED-модулі для проєктованого світильника (табл. 2.21 – 2.24). Оптика KEPL1359A10 під BRIDGELUX BXRA-56C5300 [17]: загальні характеристики: КСС, колірність пучка променів на геометрію виробу представлені на рисунку 2.13 – 2.15.

Таблица 2.21 – Загальні відомості про оптику джерела

Parameter	Symbol	Value	Unit
1	2	3	4
Lens/Reflector Model	-	KEPL1471ST	-
Materials (More into on page 9)	-	Apec+Al-coating	-
Dimensions	-	-	-
Source Model	-	BRIDGELUX BXRA-56C5300	-
Number of Sources	N	1	-

Продовження таблиці 2.21

1	2	3	4
Power Supply Type	-	ISO TECH ISP3303	-
Driver Type	-	-	-
Driving Voltage	V_F	-	V
Driving Current	I_F	-	mA
Nominal Flux	Φ	1000x1	lm

Таблиця 2.22 – Загальні відомості техніку і технологію експерименту

Parameter	Symbol	Value	Unit
Operator	-	Simone Bassi	-
Goniophotometer Type	-	KLX12M	-
Measurement Distance	-	5	m
Room Temperature	T	25	$^{\circ}\text{C}$
Date	-	2013-Feb-05	-

Таблиця 2.23 – Зведені результати світлотехнічних вимірювань

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Flux	Φ	1000	lm
Max Intensity	I_{max}	2549	cd
Max Illuminance at 5m	E_{max}	102	lx
C-Viewing Angle at 50% I_{max}	$2\varphi_c$	29	-
γ -Viewing Angle at 50% I_{max}	$2\varphi_{\gamma}$	29	-
C-Viewing Angle at 10% I_{max}	$2\varphi_c 10\%$	66	-
γ -Viewing Angle at 10% I_{max}	$2\varphi_{\gamma} 10\%$	66	-
General Optical Measurement Tolerance	-	$\pm 10\%$	-

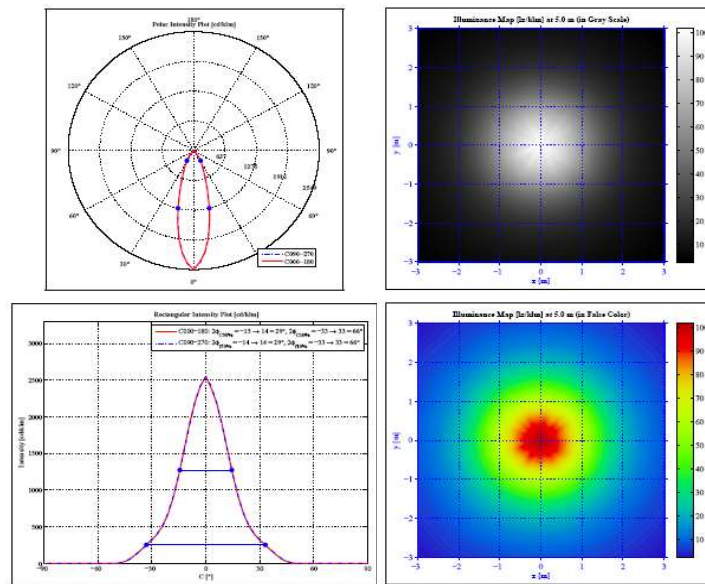


Рисунок 2.13 – Оптика KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300.

Базовий варіант для розробки. КСС і розподіл світлового рефлекса за колірністю

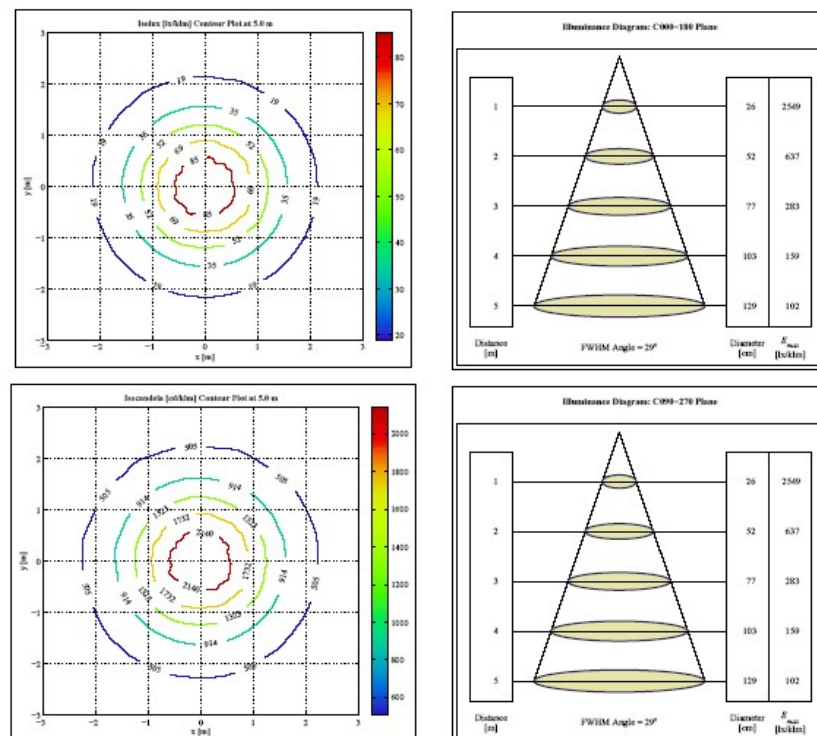


Рисунок 2.14 – Оптика KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300.

Базовий варіант для розробки. Розподіл освітленості

Таблиця 2.24 – Теплові випробування функціональних матеріалів (для різних варіантів виконання LED-модулів

Material	T_{op}	T_{stg}
PMMA	$-40^0 \dots 85^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 85^0 \text{ C}$
PC	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$
PC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 120^0 \text{ C}$
APEC+Aluminium Coating with Protective Clear Coat	$-40^0 \dots 180^0 \text{ C}$	$-40^0 \dots 180^0 \text{ C}$
ABC	$-35^0 \dots 70^0 \text{ C}$	$-35^0 \dots 70^0 \text{ C}$

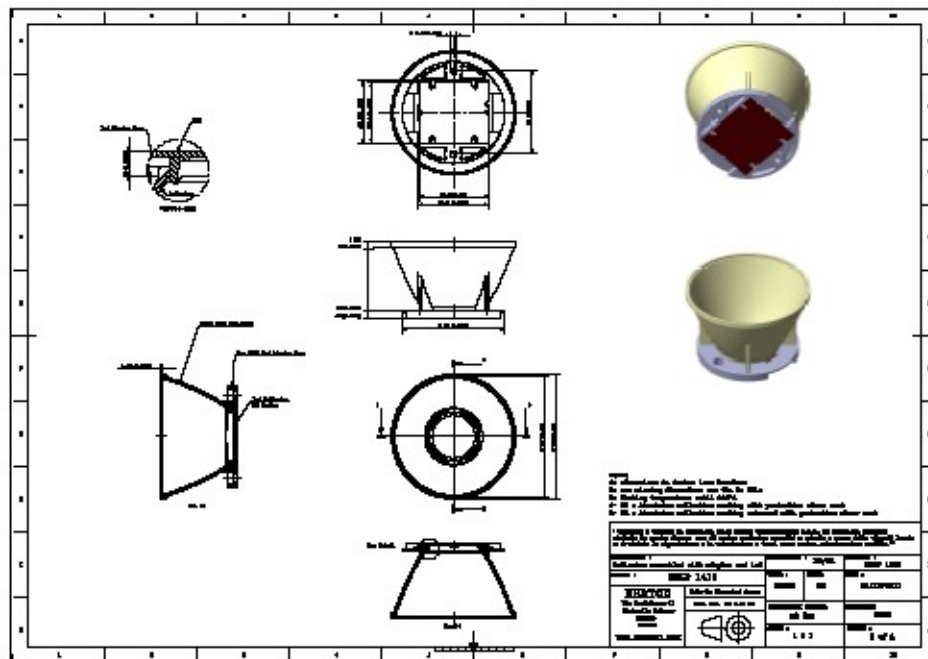


Рисунок 2.15 – Оптика KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300.

Базовий варіант для розробки. Креслення

2.2 Світлотехнічний розрахунок для аналогічного за світлорозподілом світильника з натрієвою лампою

У даному підрозділі було поставлено за мету знайти аналог базовому рішенню (варіант № 6) оптики світлодіодного світильника шляхом

проектування оптики для аналогічного за світлорозподілом світильника, але з акцентом на використання розрядної лампи (ДНаТ). З огляду на те, що термін експлуатації світлодіодного світильника обмежений терміном експлуатації вибраного модуля, а він пропрацює не більше 100 тис. годин (і лише в тому випадку, якщо використовувати оригінальний радіатор від розробника) для замовника важливо знати варіанти для термінової заміни світильника в умовах форс-мажору (коли на ринку не знайдеться аналогічного модулю, а потреба в світлоточці не зникне). На цей випадок в проекті передбачено саме такий запасний варіант.

В рамках методики, розробленої на кафедрі СДС ХНУМГ ім. О.М. Бекетова було виконано такий розрахунок [18, 19]. Ми вибрали базову потужність лампи ДНаТ 50 Вт (з огляду на те, що у фотометричному тесті максимальна КСС модулю складає 2549 кд), а ураховуючи те, що зона направленості КСС за фотометричним тестом укладалась в кутовий діапазон $0 - 35^{\circ}$, ми вибрали концентрований тип КСС (а саме – тип K1).

Результати розрахунку наводимо нижче.

Вихідний масив даних наведено в таблиці 2.25. В якості вихідних даних вибране джерело світла, і, відповідно, вказані його технічні характеристики, і, крім того, таблиця містить основні технічні вимоги – інтегральний коефіцієнт відбиття має бути 0,9, коефіцієнт підсилення проєктованого СП має бути в інтервалі 4 – 10, і ККД має бути не меншим за 50%.

Для комплексного розрахунку аналогового світильника з розрядною лампою був використаний оригінальний програмний застосунок, розроблений к.т.н Зубковим Д.С. в рамках аналітичного методу д.ф.м.н., проф. Петченка Г.О. Після введення масиву даних, застосунок розраховує початковий радіус-вектор, що визначає кривину профілю відбивача та кут охопту горловини відбивача. Всі дані щодо КСС джерела і СП в умовних одиницях здійснюються вручну, на основі чого програма їх переводить у

дійсні одиниці [18, 19. Робота з зонами відбивача ведеться вручну, але для прикіцевих розрахунків програма працює теж автоматизовано.

Таблиця 2.25 – Вихідні дані

Тип лампи	ДНаТ	Одиниці вимірювання
Потужність лампи, Рл	50	Вт
Діаметр колби	40	мм
Довжина колби	156	мм
Діаметр джерела	6	мм
Довжина джерела	32	мм
<u>Тип КСС СП (буква)</u>	К	1
Коеф.відбиття	0,9	
ККД	50%	
Коеф.підсилення СП	4~10	
Потік лампи	3500	лм
Зазор	25	

Нижче наводимо результати обробки вхідного масиву даних у вказаній програмі [19].

Діаметр горловини відбивача (сліпий отвір).

$$R_O = R_{\text{колби}} + \text{зазор} = 45 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

Початковий радіус-вектор (верхня границя профілю відбивача).

$$r_o = \sqrt{R_0^2 + h^2} = 90 \text{ мм}, \quad (2.2)$$

де: R_0 – діаметр горловини відбивача, h – половина довжини лампи.

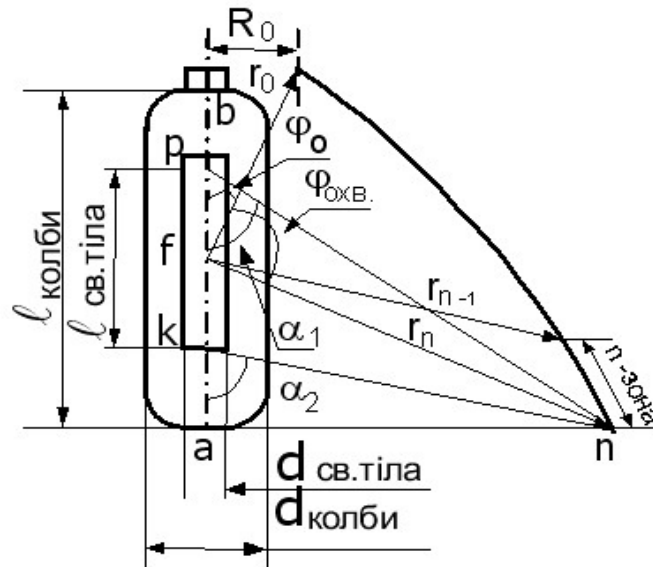


Рисунок 2.16 – Параметри для машинного розрахунку для проектування світильника з лампою ДНаТ-50

Кут горловини відбивача (рис. 2.16).

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{R_0}{r_0} = 30^\circ, \quad (2.3)$$

Визначимо кут охвата відбивача

$$\varphi_{охв} = 90^\circ + \gamma_{в.з.} - \varphi_0 = 30^\circ, \quad (2.4)$$

де: $\gamma_{в.з.}$ - осьовий захисний кут, що складає у типових світлотехнічних конструкціях $20-35^\circ$.

Таблиця 2.26 – КСС лампи в умовних і дійсних одиницях

α°	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
Іум,кд	0	20	35	50	63	75	86	92	94	100	101
Іл,кд	0	70	122,5	175	220,5	262,5	301	322	329	350	354

Розрахуємо максимальний коефіцієнт M , необхідний для переводу кривої сили світла світильника із умовних одиниць в дійсні.

$$M = \frac{\Phi_{л.\alpha} + \rho \cdot \Phi_{л.р.охв.}}{1000} = 2.06; \quad (2.5)$$

Тобто на цю величину ми і маємо збільшити КСС нашого СП під лампу даної модифікації [19]. Таким чином, ми розраховуємо КСС нашого СП у реальних одиницях $I_{св.\alpha} = M \cdot I_{св.ум.}$ (табл. 2.27, 2.28).

Таблиця 2.27 – КСС СП в умовних одиницях

α°	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
Ісп.ум	1583	1549	1288	810	0	0	0	0	0	0	0

Таблиця 2.28 – КСС СП в реальних одиницях

α°	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
Ісп.дійсн.	3262,7	3192,7	2654,7	1669,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Кутова залежність сили світла відбивача розраховувалась за виразом:

$$I_{від.\alpha} = I_{св.\alpha} - I_{л.\alpha} \cdot K_\alpha, \quad (2.6)$$

де: K_α - враховує екранування світлового тіла лампи кромкою відбивача, причому в різних кутових межах цей коефіцієнт набуває різних значень:

$$K_\alpha = 1 \text{ для } \alpha \in (0; \alpha_1)$$

$$K_\alpha = 0,5 \text{ для } \alpha \in (\alpha_1; \alpha_2)$$

$$K_\alpha = 0 \text{ для } \alpha \geq \alpha_2$$

З рисунку 2.16 видно, що для вирішення вказаної задачі треба визначити кути α_1 та α_2 (α_1 - кут, в межах якого видно все тіло джерела, α_2 - кут) [21]

Із трикутника Δapn :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{an}{pa} = \frac{an}{\frac{l}{2} l_{\text{колби}} + \frac{l}{2} l_{\text{т.джер.}}} \Rightarrow \alpha_1 = 55^\circ; \quad (2.7)$$

Із Δakn :

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{an}{ka} = \frac{an}{\frac{l}{2} l_{\text{колби}} - \frac{l}{2} l_{\text{т.джер.}}} \Rightarrow \alpha_2 = 65^\circ; \quad (2.8)$$

Таблиця 2.29 – Необхідна КСС відбивача

α°	0	5	15	25	35
Ісп.дійсн.	3262,7	3192,7	2654,7	1669,5	0,0
Іл.кд.	0	70	122,5	175	0
Івідб.кд	3262,7	3192,7	2654,7	1669,5	0,0

На рисунку 2.17 наводимо опис необхідної КСС відбивача 6 зональними КСС

Результати розрахунку коефіцієнту підсилення та ККД світлового приладу:

ККД або η – коефіцієнт корисної дії і визначається за формулою [19].

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св.}}}{\Phi_{\text{лампи}}} = \frac{\sum \Phi_i}{\Phi_{\text{лампи}}} = 52,22 \% , \quad (2.9)$$

де: $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи;

$\Phi_{\text{світ.}}$ – світловий потік світильника, тобто сума потоків усіх зон.

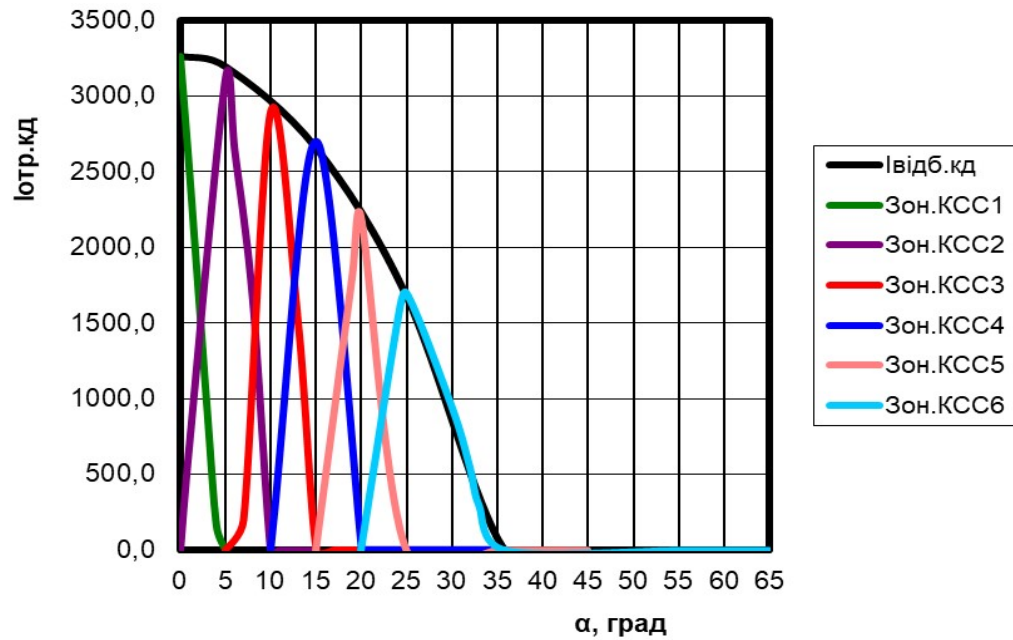


Рисунок 2.17 – Описання необхідної КСС відбивача зональними КСС

Світловий потік СП було визначено за методом зональних тілесних кутів. Результати вказаного розрахунку наведені в таблиці 2.30.

Таблиця 2.30 – Розрахунок потоку СП

α	Іотр.кд	$\Delta\omega = 2\pi(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$	$\Phi_i = \Delta\omega_i \cdot I_{i.c.p.}$
0-10	12057,3	0,095	1145,4
10.-20	10807,8	0,283	3058,6
20-30	8764,	0,463	4058,1
30-40	6069,30	0,628	3811,5
40-50	2874	0,774	2224,5
50-55	0	0,879	0
			$\Sigma=14298$

Коефіцієнт підсилення розраховано за формулою

$$K_{\eta} = \frac{I_{св.(max)}}{I_{лампи(max)}} = \frac{3262,7 \text{ кд}}{354 \text{ кд}} = 9,23, \quad (2.10)$$

Видно, що в результаті розрахунку маємо повне дотримання вимог, сформульованих у технічному завданні на проект:

$$KKД \geq 50\%$$

$$K_{\eta} \in [4;10]$$

Треба зазначити, що спроектований нами запасний аналог з джерелом ДНаТ-50 і світлорозподілом К1 виявився навіть кращим за світлодіодний базовий варіант (максимальна сила світла тут більша – 3262,7 кд).

2.3 Висновки по розділу 2

1. Виконано пошуково-аналітичну роботу щодо знаходження світлодіодних варіантів для ефективного і енергоощадного освітлення світильника для задач прожекторного архітектурного освітлення.

2. Визначено базовий варіант оптичної системи для розробки конструкції і технології виготовлення світильника (оптика KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300)

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ

3.1 Розробка конструкції світильника

Зважаючи на те, що оптична система KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300 фірми Khatod Optical Solution for LED Lighting [17] за вартістю є досить високою, в даному розділі запропоновано спрощену конструкцію для зменшення загальної собівартості готового виробу.

Як прототип до розробки, ми розглядали відповідні рішення для аналогічних світильників Корпорації БАТ “Ватра” [20].

Креслення і фото прототипів представлено на рисунку 3.1-3.2.

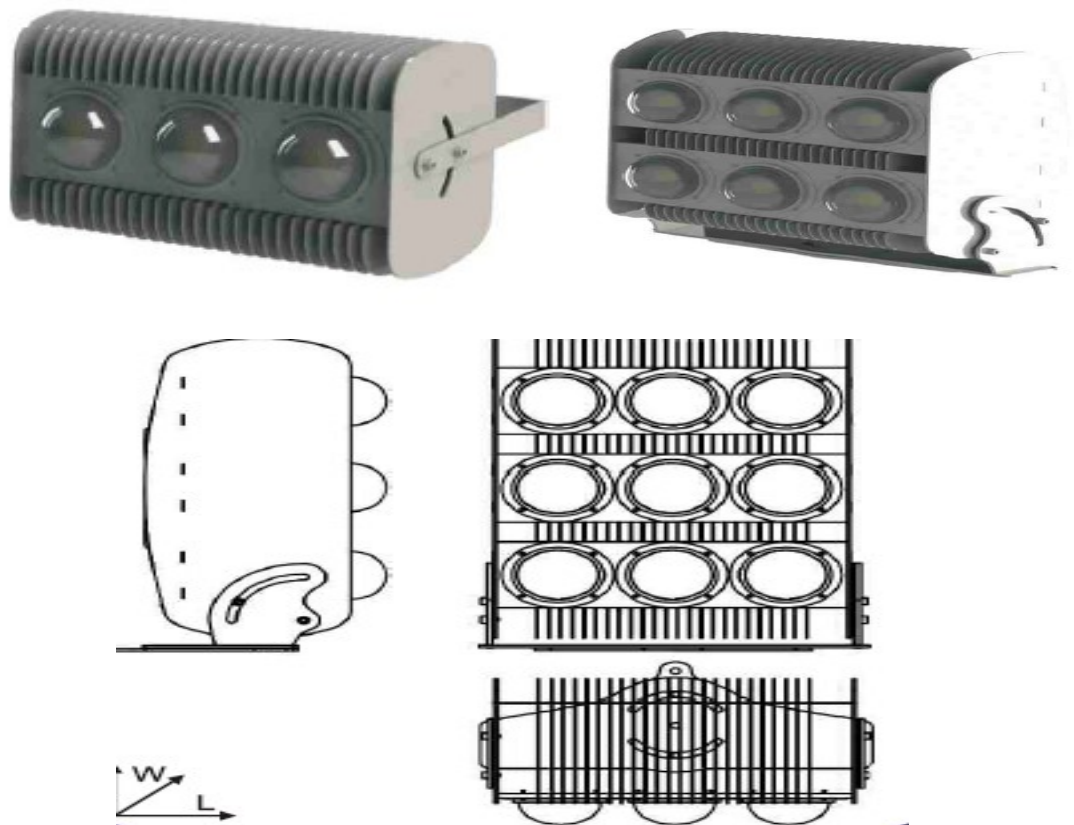


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд конструкції світильника ДСУ 05У виробника БАТ “Ватра” [20]



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд конструкції світильника ДО 72У виробника ВАР “Ватра” [20]

На основі розглянутих прототипів було запропоновано оригінальну конструкцію, наведену на рисунку 3.3.

Як можна бачити з рисунку 3.3. конструкція світильника являє собою профільований каркас з алюмінію з отвором, то є вихідним вікном для світла з оптичної системи. Кріплення оптичної системи зроблене знімним. Як видно з рисунку, сама оптична система кріпилася до монтажної пластини за допомогою двох гвинтів. Варіюючи довжину гвинтового кріплення, є можливість змінювати габарити оптики, що використовується у запропонованій конструкції.

Крім того конструкція передбачає коробку для розміщення електронного джерела живлення ЕДЖ (драйвера) приладу.

Розробку ЕДЖ і радіатора для оптичної системи при розробці даної конструкції не передбачалось. Фірма Khatod Optical Solution for LED Lighting пропонує вже готові рішення і, в разі використання своїх рішень по живленню світлодіодів і відведенню від них тепла, надає більш розширені гарантії щодо експлуатаційної якості оптичної системи.

В конструкції також передбачено два дроти, що підводять живлення до оптичної системи. Для проходження дроту через верхню частину корпусу у ній передбачено відповідний отвір. Верхня частина корпусу є відвіжною, при її переміщенні убік надається доступ до внутрішнього простору корпусу

світильника. При використанні підведення дротів через отвори скрізь передбачено сальникові ущільнювачі. Дві прямокутні пластини кріпляться з обох боків до монтажного профілю світильника і забезпечують, таким чином його герметизацію. Для даного світлового приладу також передбачене захисне скло з армованого скла або його полімерного варіанту.

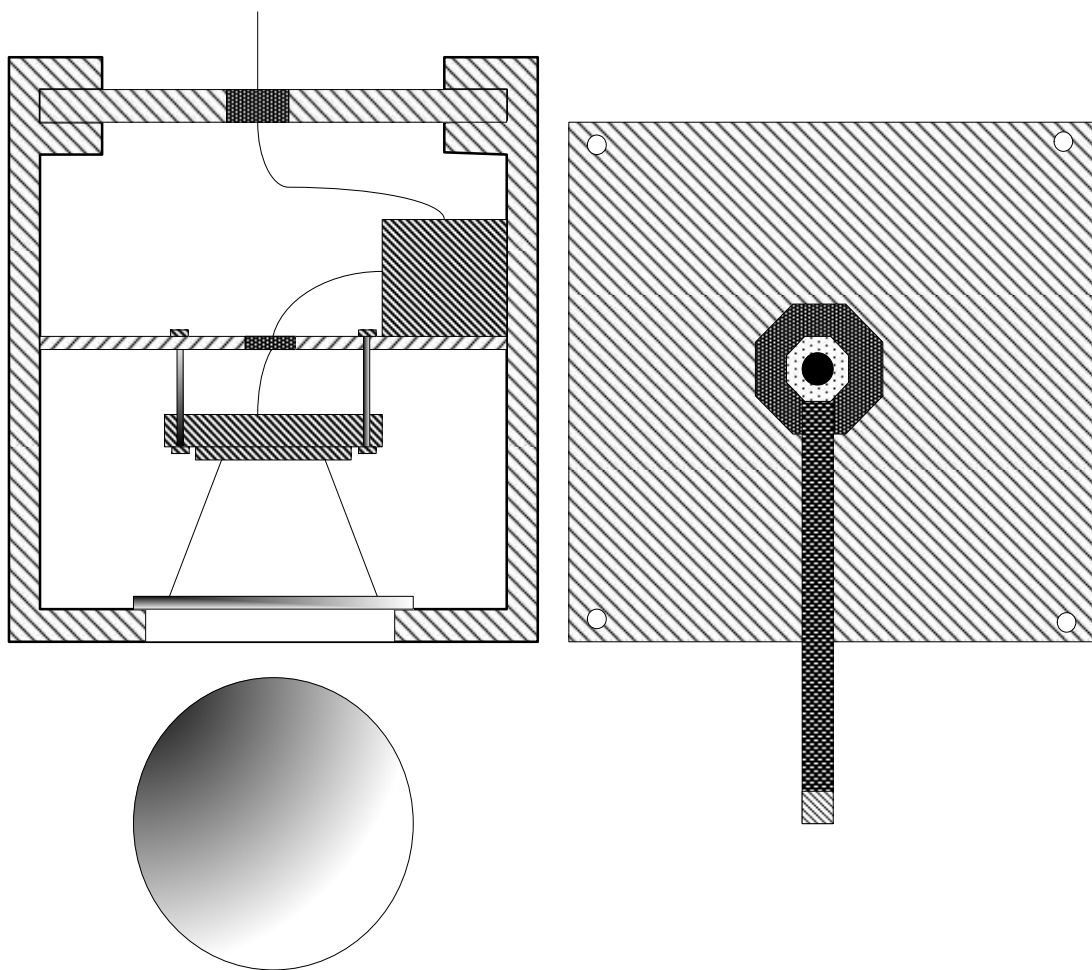


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд конструкції світильника з оптичною системою KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300

3.2 Розробка технологічних процесів виготовлення світильника

У даному розділі технологічний процес виготовлення світильника з запропонованою у попередньому розділі конструкцією включав мав такі особливості [21].

По перше, в якості робочого матеріалу було вибрано алюміній [21]. Це – низька собівартість самого матеріалу, хороша і низько вартісна його оброблюваність і, головне, хороший тепловідвід.

Як основну технологію для формоутворення корпусу було вибрано екструзію. Екструдовані профілі можна замовити на підприємствах, що спеціалізуються на виготовленні саме таких деталей, і їх вартість є низькою.

Для виготовлення функціональних отворів передбачено операцію холодної штамповки – вирубку.

Для виготовлення ручки-кронштейна ми рекомендуємо використовувати холоднопрокатну сталь. Технологія виготовлення цієї деталі в наш технологічний процес не входить, бо її можна замовити у окремих постачальників.

Технологічний процес включає в собі підготовку алюмінієвої шихти до плавлення, розігрів і плавлення під флюсом у тиглі в індукційний спосіб, екструзій не формоутворення основних і допоміжних елементів, операції холодної штамповки для виготовлення функціональних отворів.

При самостійних операціях холодної штамповки ми передбачили у технологічному процесі виготовлення основних інструментів вирубного штампу – робочих пуансонів, форма яких задає геометрію необхідного отвору у майбутній деталі.

Вся схема технологічного процесу, що виноситься на захист бакалаврської роботи, показана на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 –Схему технологічного процесу виготовлення основних і допоміжних елементів конструкції світильника

3.3 Висновки по розділу 3

1. Запропоновано конструкцію світлодіодного світильника з оптичною системою KCLP1471ST під BRIDGELUX BXRA-56C5300, головною перевагою якої є можливість заміни джерела світла і оптичного блоку після закінчення строку його експлуатації на приблизно аналогічний.

2. Конструкція передбачає використання профільованого екструдованого алюмінієвого каркасу і двох екструдованих пластин (бокових стінок).

3. Головними кріпильними засобами є гвинтові кріплення.

4. Опрацьовано технологію виготовлення елементів конструкції світильника методом екструзії. Даний метод застосовується в конструкції при виготовленні профілю корпусу (його монтажної основної частини), двох бічних стінок і елементу для монтажу на мачту.

5. Опрацьовано технологію виготовлення функціональних отворів у конструкції за методом пробивки, що є різновидом методики холодної штамповки металів.

6. Приділено увагу підготовці матеріалу до формоутворення – плавлінні алюмінію під флюсом за методикою тигельного індукційного нагріву.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Усі правові питання охорони праці в нашій країні зважуються на підставі Конституції України, що говорить, що держава дбає про поліпшення умов охорони праці, його наукової організації, безпеки [22 – 24, 28].

Державна політика в області охорони праці базується на наступних принципах: пріоритету життя і здоров'я працівників відповідно до результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці; проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці, участі держави у фінансуванні заходів для охорони праці; соціальному захисту працівників, повним відшкодуванням збитку особі потерпілій від нещасливого випадку на виробництві і професійних захворювань; здійснення навчання населення професійній підготовці і підвищенню кваліфікації працівників з питань охорони праці.

4.1 Виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У приміщенні лабораторії проводять заняття із застосуванням стендів, на яких проводить спостереження за вимірюванням електричних та світлових параметрів джерел світла та експлуатаційних характеристик СП.

При виконанні цих робіт персонал стикається з різними шкідливими і небезпечними явищами [25]. Так при проведенні практичних занять використовуються стенди, що працюють від електромережі.

Проаналізувавши роботи, які виконуються в лабораторії по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП можна виявити наступні небезпечні та шкідливі потенційні фактори:

- знижена чи підвищена температура повітря робочої зони;
- підвищена чи знижена вологість повітря;

- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може відбутися крізь тіло людини;
- недостатня освітленість робочої зони;
- гострі краї, задирки та шорсткості на поверхні інструментів, обладнання.

4.2 Розробка організаційних і технічних заходів щодо створення безпечних умов роботи в лабораторії

Вимоги до приміщення.

Робочі місця працівників лабораторії характеризуються робочою обстановкою, тобто сукупністю факторів зовнішнього середовища. До них відносяться інформаційні, соціально-психологічні та естетичні властивості середовища, що впливають на людину. Комфортним середовищем робочих місць є такий стан зовнішнього середовища на робочому місці, що забезпечує оптимальну динаміку працездатності, гарне самопочуття, збереження здоров'я [25 – 28, 29]..

Мікроклімат повітря робочої зони.

Робота персоналу лабораторії по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП відноситься до другої категорії - фізичні роботи середньої ваги з енерговитратами 172-293 Дж/с. Відповідно до цього у холодний та перехідний періоди року, температура повітря у приміщенні повинна бути в межах 17-23 °С, відносна вологість повітря не більше 75%, швидкість руху повітря не більше 0,3 м/с. У теплий період року температура повітря може бути підвищена на 3 °С.

Оптимальний мікроклімат у приміщенні забезпечує підтримка теплової рівноваги між організмом і навколишнім середовищем. Підтримка на заданому рівні параметрів, що визначають мікроклімат – є стабілізація

температури кондиціонуванням вентиляції (в теплий період) і системою центрального опалення (в холодний період року).

4.3 Освітлення лабораторії

Для нормальної роботи персоналу необхідно забезпечити освітленість робочих місць. Це досягається у світлий час доби за рахунок природного освітлення, а у темний час доби за рахунок штучного освітлення. Зорова робота, яка виконується працівниками лабораторії відноситься до розряду III В (для об'єкта розрізнення 0,3-0,5мм, контраст об'єкта розрізнення з фоном – середній, характеристика фону – світлий) [30]. Для розряду зорової роботи III В нормована освітленість складає 300 лк. Відповідно до санітарних норм і правил, усі приміщення повинні мати природне освітлення [24]. Оцінка кількісної характеристики природного освітлення виражається через коефіцієнт природного освітлення (КЕО), що приводиться у відсотках. Як вказувалось вище, робочі лабораторії виконують зорову роботу високої точності, розряд зорової роботи III В [15-17,21-22], відповідно до чого КЕО = 2 %. У діючих СНіП нормування КЕО приведені для третього світлового пояса. Для будинків розташованих у I, II, IV і V поясах КЕО визначається за формулою 5.1.

$$l_n^{1,2,4,5} = l_n^3 \cdot m \cdot c, \quad (4.1)$$

де: l_n^3 - значення КЕО для III світлового пояса, %; m – коефіцієнт світлового клімату; c - коефіцієнт сонячного клімату. Місто Харків знаходиться у IV світловому поясі, тому КЕО визначаємо за формулою 4.1 і одержуємо КЕО = 1,44 %. При однобічному боковому природному освітленні нормоване мінімальне значення КЕО є таким у точці, що розташована на відстані 1м від

стіни, найбільш віддаленої від світлових прорізів, на відстані вертикальної площини характерного розрізу приміщення й умовної робочої поверхні. Прямі сонячні промені, що проникають до приміщення у великих дозах і протягом усього часу виявляються несприятливими, тому що викликають осліпленість, підвищують температуру повітря, нагрівають обладнання [30]. Тому у приміщенні лабораторії повинні передбачатися сонцезахисні пристрої (жалюзі, козирки). Розрахунок штучного освітлення полягає у визначенні кількості світильників та їх розміщення у приміщення. Світловий потік світильників, який необхідний для забезпечення нормованої освітленості визначається за формулою 4.2

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S_n \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

де: E_n – нормована освітленість, $E_n = 300 \text{лк}$; K_z – коефіцієнт запасу, $K_z = 1,5$ [4]; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення на робочому місці, $Z = 1,1$ [4]; η – коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла; n – кількість ламп світильника; S_n – площа приміщення, м^2 .

$$S = A \cdot B, \quad (4.3)$$

де: A – довжина лабораторії, $A = 15 \text{ м}$; B – ширина лабораторії, $B = 8 \text{ м}$. Тобто для типових розмірів лабораторних приміщень $S = 15 \cdot 8 = 120 \text{ м}^2$.

Індекс приміщення визначається за формулою 4.4

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.4)$$

де: h – відстань від світильника до робочої поверхні, м .

$$h = H - h_0, \quad (4.5)$$

де: H – висота стелі в лабораторії, $H=3,2\text{м}$; h_0 - відстань від підлоги до робочої поверхні, $h_0=0,8\text{м}$.

$$h = 3,2 - 0,8 = 2,4 \text{ м}$$

$$i = \frac{15 \cdot 8}{2,4 \cdot (15 + 8)} = 2,17$$

Виходячи з типових значень коефіцієнтів відбиття стелі $\rho_{\text{п}}=0,7$, стін $\rho_{\text{с}}=0,5$ та підлоги $\rho_{\text{під}}=0,3$, а також індексу приміщення та кривої розподілу світлового потоку світильника, визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку світильника.

Отже коефіцієнт використання світлового потоку світильника $\eta=0,42$.

Розраховуємо світловий потік джерел світла за формулою 3.2.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 120}{1 \cdot 0,42} = 141429 \text{ лм}$$

Визначаємо кількість ламп N , знаючи що світловий потік однієї лампи типу ЛБ-40 складає 3000 лм.

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_n}, \quad (4.6)$$

де: $\Phi_{\text{п}}$ – світловий потік однієї лампи, $\Phi_{\text{п}}=3000 \text{ лм}$.

$$N = \frac{141429}{3000} = 47,6 \approx 48 \text{ ламп}$$

Так як застосовувати однолампові світильники у приміщеннях, в яких постійно знаходяться люди забороняється, визначаємо кількість дволампових світильників.

$$n = \frac{N}{2} = 24 \text{ ламп,} \quad (4.7)$$

Для забезпечення нормованої освітленості на робочому місці, необхідно установити 24 світильника типу ЛПО 2×40.

План розміщення світильників у лабораторії по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП наданий на рисунку 4.1.

4.4 Електробезпе́чність

Приміщення лабораторії по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщень підвищеної небезпеки. Електрообладнання лабораторії за напругою відноситься до категорії 1000 В, а за струмом короткого замикання до 500 А. Кожен працівник лабораторії повинен знати „Правила по техніці безпеки при експлуатації електроустановок” у межах займаної посади та мати групу по електробезпе́чності [30]. Працівникам, які пройшли перевірку знань за правилами електробезпе́чності, видається посвідчення, яке він зобов'язаний мати при собі, знаходячись на роботі.

Контроль та профілактика ізоляції [30]

Щоб запобігти замикання на землю та інші uszkodження ізоляції, при яких виникає небезпека uszkodження людей електричним струмом, а також виходить з ладу устаткування, необхідно проводити випробовування підвищеною напругою і контроль ізоляції. При випробуванні підвищеною напругою дефекти ізоляції виявляються внаслідок пробою та наступного пропалювання ізоляції струмом. Виявлені дефекти усуваються і проводяться повторні випробування справного обладнання. Періодично проводиться контроль ізоляції, вимір її опору в терміни встановлені правилами у випадку

виявлення дефекту. Вимірюються опори кожної фази щодо землі та між кожною парою фаз. Опір ізоляції вимірюється за допомогою мегомметра і повинен бути не менше 0,5 МОм на фазу. Виміри проводяться не рідше одного разу в рік з оформленням протоколу вимірів.

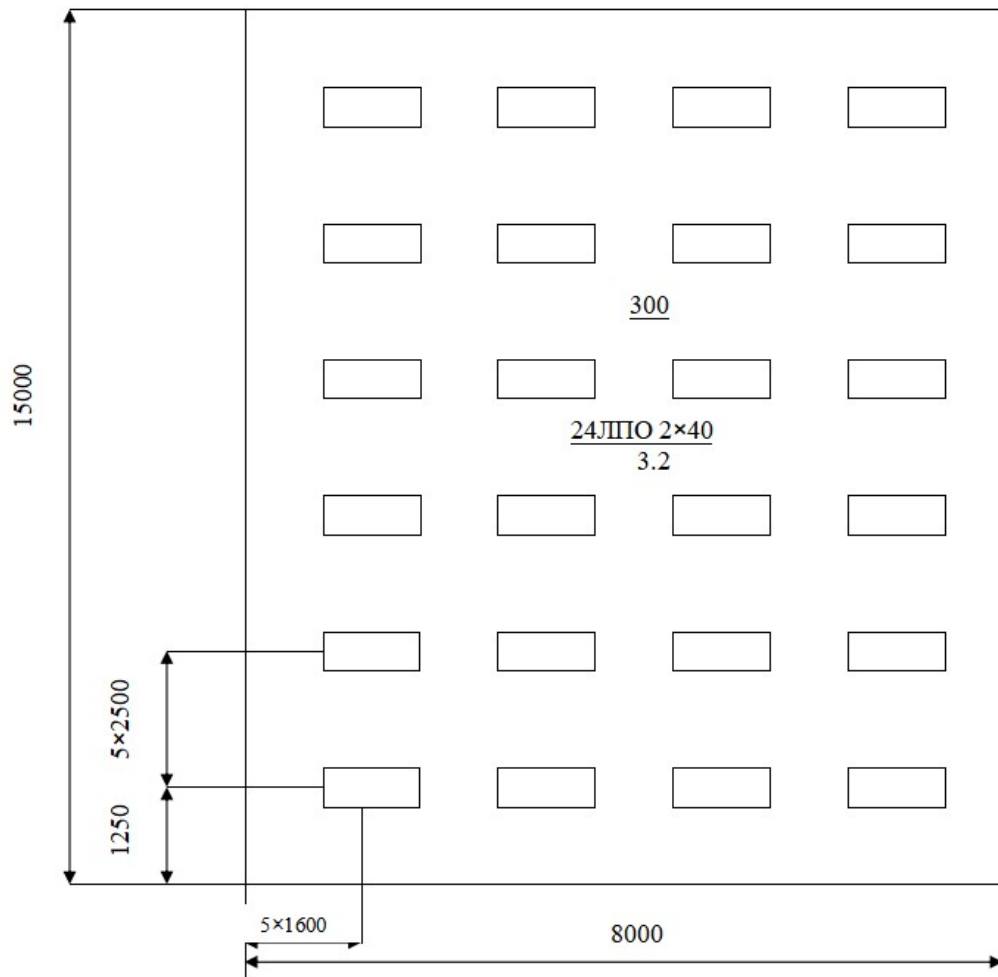


Рисунок 4.1 – План розміщення світильників у лабораторії

Захист від випадкового дотику [30].

Дотик до струмоведучих частин завжди може бути небезпечним, тому неізольовані струмоведучі частини повинні бути закриті чохлами, кришками, кожухами та огорожені. Огородження виконується з діелектричного матеріалу і розташовується на відстані 50 мм від неізольованих

струмоведучих частин. На захисних кришках, чохлах, кожухах та огороженнях повинні бути відповідні таблички, які попереджають про небезпеку. Щоб виключити можливість дотику або небезпечного наближення до неізованих струмоведучих частин, повинна бути забезпечена недоступність за допомогою огороження, блокувань чи розташування струмоведучих частин на недоступній висоті або в недоступному місці. Щоб уникнути дотик до ушкоджених частин електричної проводки, її часто прокладають під штукатуркою у спеціальних коробах. Для захисту від дотику до частин, які нормально чи випадково знаходяться під напругою застосовується також подвійна ізоляція. Частіше подвійна ізоляція здійснюється шляхом покриття металевих корпусів і рукояток електрообладнання шаром електроізоляційного матеріалу та застосуванням ізолюючих ручок.

Захисне заземлення.

Корпуси електроустановок апаратів, устаткування, світильників можуть виявитися під напругою при замиканні їхніх струмоведучих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього такий же небезпечний, як і дотик до фази [30]. Безпека забезпечується шляхом заземлення корпуса заземлювачем, що має малий опір і малий коефіцієнт дотику. Опір пристрою, що заземлює, не повинен перевищувати 4 Ом. Так як лабораторія світлотехніки повинна мати свій заземлювач, зробимо розрахунок контуру, що заземлює. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту за формулою 5.8.

$$R_p = K_c \cdot \rho, \quad (4.8)$$

де: K_c – коефіцієнт сезонності, $K_c=1,3$; ρ – питомий опір ґрунту, $\rho = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$R_p = 1,3 \cdot 150 = 195 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача

$$R_0 = \frac{\rho_{розр.}}{2\pi d} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (4.9)$$

де: R_0 - опір розтіканню струму, Ом; l – довжина одиночного заземлювача, $l=2,5$ м; H – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м; d – ширина одиночного заземлювача, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (4.10)$$

де: b – ширина полиці кутової сталі, $b=0,04$, $d = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038$ м

$$H = \frac{1}{2} + h_0 = 2,25 \text{ м},$$

де: h_0 – відстань від поверхні землі до початку заземлювача, $h_0=0,8$ м.

$$R_0 = \frac{195}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,038} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,25 + 2,5}{4 \cdot 2,25 - 2,5} \right) = 64,9 \text{ Ом}$$

Розраховуємо кількість паралельно з'єднаних одиночних заземлювачів, необхідних для забезпечення допустимих значень опору заземлення за наближеною формулою без обліку опору смуги зв'язку [30].

$$n_3 = \frac{R_0}{R_{доп} \cdot \eta}, \quad (4.11)$$

де: $R_{доп} = 4$ Ом - допустимий опір заземлюючого пристрою, для установок до 1000 В; η – коефіцієнт використання групового заземлення, приймаємо $\eta=0,55$.

$$n_3 = \frac{64,9}{4 \cdot 0,55} = 30 \text{ шт}$$

Розраховуємо довжину горизонтальної сполучної смуги:

$$l_z = a \cdot (n_3 - 1), \quad (4.12)$$

де: a – відстань між вертикальними заземлювачами, $a=2,5$ м.

$$l_z = 2,5 \cdot (30 - 1) = 72,5 \text{ м}$$

Визначаємо опір сполучної смуги:

$$R_n = \frac{\rho_{розр.}}{2\pi l_z} \ln \frac{l_z^2}{d_n \cdot H}, \quad (4.13)$$

де: d_n – еквівалентний діаметр смуги, м.

$$d_n = 0,95 \cdot b_n, \quad (4.14)$$

де: b_n – ширина смуги, $b_n=0,15$ м, $d_n = 0,95 \cdot 0,15 = 0,142$ Ом

$$R_n = \frac{195}{2 \cdot 3,14 \cdot 72,5} \ln \frac{72,5^2}{0,142 \cdot 2,25} = 4,16 \text{ Ом}$$

Розраховуємо результуючий опір електрода, що заземлює, з урахуванням сполучної смуги:

$$R_{zp} = \frac{R_0 \cdot R_n}{R_0 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta \cdot \eta_3}, \quad (4.15)$$

$$R_{zp} = \frac{64,9 \cdot 4,16}{64,9 \cdot 0,34 + 4,16 \cdot 30 \cdot 0,55} = 2,97 \text{ Ом}$$

Опір контуру, що заземлює, складає 2,97 Ом, що менше допустимого опору пристроїв, що заземлюють, і задовольняє умовам електробезпечності .

План розміщення заземлювачів представлений на рисунку 4.2.

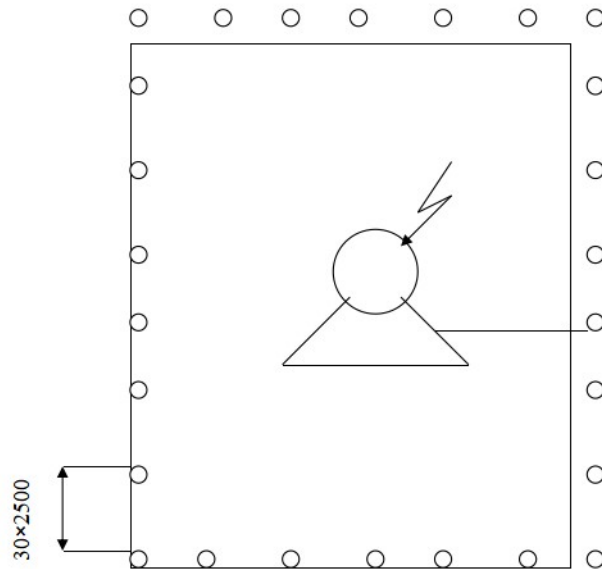


Рисунок 4.2 – План розміщення заземлювачів

4.5 Пожежна безпека

Згідно до [29, 30] у залежності від характеристики речей, що використовуються у виробництві, та їхньої кількості, лабораторія по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП відноситься за пожежною безпекою та вибухонебезпечністю до категорії Д.

Джерелом пожежі на ділянці може бути електричне замикання, при якому починає горіти ізоляція, а також внаслідок нагрівання контактних з'єднань. Також причиною пожежі може бути невиконання працівниками лабораторії правил пожежної безпеки [30]. Організаційним заходом щодо забезпечення пожежної безпеки є навчання робітників та службовців правилам пожежної безпеки, розробка та реалізація норм і правил пожежної безпеки, виготовлення і застосування засобів наочної агітації по

забезпеченню пожежної безпеки. Крім того призначається відповідальний за протилежний стан. Забороняється зберігати в лабораторії вибухонебезпечні, пожежонебезпечні, токсичні та отруйні речовини. При гасінні вогнищ заpalення електроустаткування, необхідно насамперед відключити напругу, а потім приступити до гасіння вогню вуглекислотний або порошковим вогнегасником ОУ чи сухим піском. Користатися пінним вогнегасником ОХП забороняється. При великому загорянні необхідно викликати пожежну частину за телефоном 01. Приміщення лабораторії повинне бути обладнане пожежною сигналізацією, що сигналізує для швидкого повідомлення служби пожежної охорони про загорання. Особа, відповідальна за пожежну безпеку зобов'язана:

- забезпечити дотримання встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю устаткування і негайно вживати заходів по усуненню виявлених недоліків, що можуть спричинити пожежу;
- стежити за тим, щоб по закінченню робочого дня вироблялося збирання робочих місць і приміщення, відключалася електроенергія, за винятком чергового освітлення;
- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Повинна бути розроблена конкретна інструкція про заходи пожежної безпеки. Усі працівники повинні проходити спеціальну протипожежну підготовку, що складається з протипожежного інструктажу та занять з пожежно-технічного мінімуму.

4.6 Висновки по розділу 4

У розділі відповідно до завдання:

- виявлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори;

- визначено параметри мікроклімату, природного та штучного освітлення;
- розроблено рішення по забезпеченню електробезпечності, контролю і профілактики ушкоджень ізоляції, захисту від випадкового дотику, захисного заземлення;
- визначено можливі причини виникнення пожежі та розроблений комплекс заходів щодо пожежної безпеки.

Розроблені заходи та технічні рішення, які дозволяють створити в лабораторії по розробці конструкцій і технологічних процесів виготовлення і складання СП безпечні та здорові умови роботи.

ВИСНОВКИ

Архітектурне освітлення формує образ будівель у нічний час та підкреслює їхню естетику. Воно особливо актуальне для історичних споруд і виразних архітектурних рішень, а також може виконувати рекламну функцію, привертаючи увагу до закладів чи брендів, представлених на фасаді.

Підходи до освітлення різняться: одні орієнтовані на яскравість і динаміку кольорів, інші – на створення атмосфери за допомогою м'яких тонів. У першому випадку застосовуються потужні прожектори, що роблять фасад помітним і навіть агресивним. У другому – світлодіодний гнучкий неон, який повторює архітектурні лінії та створює витончену, багатогранну картину

В роботі проаналізовано дані 6 фотометричних тестів і вибрано базовий для розробки світильника варіант - оптику KCLP1471ST як такий, що є найбільш відповідний для задач прожекторного освітлення.

На основі вивчення прототипів сучасних світлодіодних світильників з оптикою подібної геометрії запропоновано конструкцію світлодіодного світильника під оптику KCLP1471ST, головною перевагою якої є можливість заміни джерела світла і оптичного блоку після закінчення строку його експлуатації на приблизно аналогічний.

Запропоновано технологію виготовлення основних елементів конструкції розробленого світильника з орієнтуванням на зниження собівартості виготовлення його номенклатурної одиниці. .

Проаналізовані умови праці в лабораторії, визначені небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на працівників. В результаті чого розроблені відповідні заходи та технічні рішення для створення безпечних умов праці в лабораторії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 60598-1:2017. Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування. На заміну (EN 60598-1:2015, IDT); ДСТУ EN 60598-1:2015/Поправка № 1:2016 (EN 60598-1:2015/AC:2015, IDT); ДСТУ EN 60598-1:2015/Поправка № 2:2016 (EN 60598-1:2015/AC:2016, IDT); Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 152 с.
2. ДСТУ 8546:2015. Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови. Чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2017. 37 с.
3. Лісна О. І. Декоративно-художнє освітлення архітектурного середовища: навч. посібник / О. І. Лісна; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 275 с.
4. Архітектурне освітлення і підсвічування фасадів будівель: призначення і типи. Stolb : URL: – <https://stolb.com.ua/priznachennya-tipi-arkhitekturne-osvitlennya-i-pidsvichuvannya-fasadiv/> (дата звернення: 05.05.2026).
5. References1. Mansfield, K.P. Architectural lighting design: A research review over 50 years. *Light. Res. Technol.* 2018, 50, 80–97. <https://doi.org/10.1177/1477153517736803>.
6. Edensor, T. Light design and atmosphere. *Vis. Commun.* 2015, 14, 331–350.
7. Skarzynski, K.; Zagan, W. Improving the quantitative features of architectural lighting at the design stage using the modified design algorithm. *Energy Rep.* 2022, 8, 10582–10593. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.203>
8. Valetti, L.; Floris, F.; Pellegrino, A. Renovation of Public Lighting Systems in Cultural Landscapes: Lighting and Energy Performance and Their Impact on Nightscapes. *Energies* 2021, 14, 509. <https://doi.org/10.3390/en14020509>.

9. Жаган В. Ілюмінація об'єктів / В. Жаган : [пер. с пол.] – Л. : ЕКОінформ, 2006. - 242с.

10. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Світловий дизайн архітектурного середовища» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : О. М. Діденко, П. П. Говоров. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 39 с.

11. Лабунська І., Кононенко Г. Взаємодія світла і кольору у формуванні архітектурного центру / І. Лабунська, Г. Кононенко // Міжнародний науковий журнал інженерії та сільського господарства: 2002, 1(5), (2022).1–7. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220105.01>

12. Світлодіоди у архітектурному освітленні. *5watt*. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/svitlodiodi-u-arkhitektturnomu-osvitlenni> (дата звернення: 26.05.2026).

13. Яців С. М., Яців М. Б. Роль світла в архітектурі громадських будівель. Футуристичний аспект / С. М. Яців, М. Б. Яців. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Архітектура. 2018. № 895. С. 120-124. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPARX_2018_895_26.

14. Маслова С.А., Тищенко В.О., Принципи побудови світлового образуархітектурного об'єкту, 2018, URL: http://irbisnbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nvb_2019_1_2_14.pdf (дата звернення 20.05.2026)

15. Тарасова К., Кононенко Г., Янтівська О, Особливості застосування кольору та світла в архітектурі та дизайні, їх вплив на людину. Міжнародний Наука Журнал з Інженерія & Сільське господарство. 1. 23-30., 2022 рік DOI:<http://dx.doi.org/10.46299/j.isjea.20220105.04>

16. Праслова В. Світло як художній засіб проектування архітектурного та міського середовища. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ: КНУБА, вип. 66, 2023 рік, с. 58-69, DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.58-69>.

17. Outdoor architectural lighting. *Khatod*. URL: <https://www.khatod.com/en/>. (date of access: 26.05.2026).

18. Розрахунок і конструювання оптико-електронних приладів : навч. посібник / А. С. Литвиненко, Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 139 с.

19. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи «Розрахунок світильника з регламентованим світлорозподілом» із навчальної дисципліни «Світлові прилади» (для студентів денної і заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : А. С. Литвиненко, Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 21 с.

20. ДО72У (МОДЕЛЬ В). *Vatra*. URL: <https://vatra.ua/ukr/floodlights/do72u-b-VATRA> (дата звернення: 26.05.2026)/

21. Технологія світлотехнічного виробництва : навч. посібник / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с.

22. Закон України «Про охорону праці». Рада. Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 20.05.2026).

23. Кодекс законів про працю. Рада. Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text> (дата звернення: 20.04.2025)

24. Директива 89/391/ЄС «Про введення заходів, що сприяють поліпшенню безпеки та гігієни праці працівників». *Будстандарт. Сервіс документів*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47940 (дата звернення: 20.05.2026)

25. ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами обчислювальних машин». *Будстандарт. Сервіс документів*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6007 (дата звернення: 22.05.2026).

26. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. *Будстандарт. Сервіс документів*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40230 (дата звернення: 22.05.2026)

27. НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». *Будстандарт. Сервіс документів*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24622 (дата звернення: 22.05.2026).

28. Конституція України. *Президент України*. Офіційне інтернет-представництво. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution> (дата звернення: 26.05.2026).

29. ДНАОП 0.00-1.28-10 "Методи оцінки умов праці" Офіційний веб портал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0293-10> (дата звернення: 26.05.2026).

30. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник : у 2 ч. / Я. О. Серіков, Л. Ф. Коженевські, М. В. Хворост ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова ; Краків : ЄАС, 2021. – ISBN 978-966-695-528-2 Ч. 1 : Безпека життєдіяльності. – 2021. – 255 с. ISBN 978-966-695-529-9