

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій
Навчально-науковий інститут
«Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

Кафедра _____ Електрорухомий склад залізниць _____
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ Афанасов А.М.
(підпис) (ПІБ)

2021 р. грудень « _____ »

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань _____ 14 Електрична інженерія _____
(шифр) (назва)

Спеціальність _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код) (повна назва)

Спеціалізація _____ Електричний транспорт _____
(повна назва)

Тема Розробка енергозберігаючої системи освітлення рухомого складу

Theme Development of an energy saving system and lighting a rugged warehouse

Керівник дипломної роботи _____ ст. викладач _____ Васильєв В. Є _____
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер _____ ст. викладач _____ Васильєв В. Є _____
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студент групи _____ ЕТ2120 _____ Деменков Б.Ю. _____
(група) (підпис) (ПІБ)

Student _____ Demenkov Bohdan _____
(Family name)

Дніпро
2021

Український державний університет науки і технологій
Навчально-науковий інститут
«Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»

Факультет «Управління енергетичними процесами» Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

_____ А.М. Афанасов

" 15 " грудня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Студента групи ET2021 _____ Деменкова Богдана Юрійовича
(П. І. Б.)

1 Тема магістерської роботи: **Розробка енергозберігаючої системи**
освітлення рухомого складу

затверджена наказом по університету № _____ від « » червня 2021 р.

2 Термін подання студентом закінченої роботи: «10» грудня 2021 р.

3 Вихідні дані до магістерської роботи: _____

1) аналіз виходу з ладу приладів освітлення електровозів по регіональним філіям

2) програма ремонту електричних апаратів на 2019-2021 рр

3) аналіз виходу з ладу електричних пристроїв освітлення

4 Розділи магістерської роботи та терміни виконання.

Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %	Кількість ілюстрацій	Рекомендована літ-ра
Вступ	09.09-15.09	5		1-2
1 Розвиток світлодіодної техніки	15.09-29.09	15	1	3-5
2 Використання світлодіодів в пристроях загального освітлення кабін машиніста локомотива	01.10-20.10	20	2	6, 7
3 Розробка і дослідження пристроїв на основі світлодіодів для прожектора локомотива	21.10-15.11	25	2	8
4 Інноваційні можливості використання світлодіодної техніки на локомотивах	16.11-20.11	15	2	3, 8
Заключення	21.11-30.11	10	1	7, 8
Оформлення	01.12-5.12	5		
Підписування та допуск	06.12-10.12	5		

5 Рекомендована література

1. Берг А, Светодиоды / А. Берг, П. Дин. – М. : Из-во Мир. - 1979. – 686 с.
2. Коган Л.М. Полупроводниковые излучающие диоды / Л.М. Коган. –М. : Из-во Энергоатомиздат. - 1983. – 206 с.
3. Шуберт Ф. Светодиоды/ Ф. Шуберт. пер.с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. – М.: Из-во ФИЗМАТЛИТ. 2008. – 496 с. – ISBN 978-5-9221-0851-5.
4. Лисма: лампы накаливания прожекторные ПЖ [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lisma-guprm.ru/index.php?id=51&type=2&viewid=1114>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Справочная книга по светотехнике под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат. 1983. – 472 с.
6. Иванов А.П. Электрические источники света / А.П. Иванов. –Л.: Из-во Госэнергоиздат. – 1955. - 288 с.
7. Тищенко Г.А. Осветительные установки / Г А. Тищенко.- М.: Из-во Высш. шк. 1984 - 247с.
8. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. - СПб.: Из-во Энергоатомиздат. – 1992. – 448 с. ISBN 5-283-04464-5.

Дата видачі завдання: « 08 » вересня 2021 р.

Керівник магістерської роботи:

(підпис)

Васильєв В.Є.

(П. І. Б.)

Консультант:

(підпис)

(П. І. Б.)

Завдання прийняв до виконання:

(підпис)

Деменков Б.

(П. І. Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Розробка енергозберігаючої системи освітлення рухомого складу» складається зі вступу, чотирьох основних розділів, виконана на 113 сторінках машинописного тексту і містить: 3 таблиці, 53 рисунка, 2 додатки на 14 сторінках. Бібліографічний список налічує 19 найменувань.

Об'єктом досліджень є спеціальні електротехнічні освітлювальні установки і системи управління ними.

Предмет дослідження: забезпечення безпеки рухомого складу.

Метою роботи є підвищення безпеки руху за рахунок застосування пристроїв оптоелектроніки локомотива на основі світлодіодів.

Галузь застосування – залізничний транспорт, підприємства по ремонту електричного рухомого складу, локомотивні депо.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і основні завдання роботи.

У першому розділі проведено огляд основних робіт за останні роки в області історії розвитку та сучасного стану світлодіодної техніки локомотива; особливості застосування світлодіодів в системі безпеки локомотива, історія розвитку та сучасний стан атмосферної оптичного зв'язку.

Другий розділ присвячено аналізу використання світлодіодів в пристроях загального освітлення кабін машиніста локомотива. В розділі розглянуто питання оптимізації системи загального освітлення кабіни машиніста пристроями на основі світлодіодів, аналіз системи загального освітлення кабіни машиніста локомотива, аналіз застосування зміни спектра випромінювання освітлення кабіни машиніста.

У третьому розділі проведена розробка і дослідження пристроїв на основі світлодіодів для прожектора локомотива, розглянуто загальні питання розробки прожектора на основі світлодіодів, наведено практичні пропозиції розробки оптичної системи прожектора

У четвертому розділі розглядаються інноваційні можливості використання світлодіодної техніки на локомотивах, аналіз питань безпеки при руху локомотива в кривих, виконано розробку прожектора локомотива з функцією змінною діаграми спрямованості, а також зроблені пропозиції по розробці системи передачі інформації для локомотива через атмосферну оптичну лінію зв'язку.

Ключові слова: СВІТЛОДІОД, ПРОЖЕКТОР, ОСВІТЛЕННЯ, КАБІНА МАШИНІСТА, СПЕКТР, ЛОКОМОТИВ, ОПТИКА, ЛІНЗА, ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ.

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ	7
1 Розвиток світлодіодної техніки	9
1.1 Історія розвитку та сучасний стан світлодіодної техніки локомотива електричного транспорту	9
1.2 Особливості застосування світлодіодів в світлосигнальній системі безпеки локомотива	11
1.3 Історія розвитку та сучасний стан атмосферної оптичного зв'язку	18
1.4 Висновки по розділу	23
2 Використання світлодіодів в пристроях загального освітлення кабін машиніста локомотива	24
2.1 Оптимізація системи загального освітлення кабіни машиніста пристроями на основі світлодіодів	24
2.2 Аналіз системи загального освітлення кабіни машиніста	32
2.3 Аналіз застосування зміни спектра випромінювання освітлення кабіни машиніста	38
2.4 Висновки по розділу	39
3 Розробка і дослідження пристроїв на основі світлодіодів для прожектора локомотива	41
3.1 Загальні питання розробки прожектора на основі світлодіодів	41
3.2 Аналіз геометрії вузькоградусної оптики для світлодіода з урахуванням втрат світла	44
3.3 Практичні пропозиції розробки оптичної системи прожектора	62
3.4 Висновки по розділу	64

					Розробка енергозберігаючої системи освітлення рухомого складу			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Деменков Б.Ю.			Розрахунково- пояснювальна записка	Літера	Арк.	Акрушів
Перевір.		Васильєв В.Є.					4	113
Реценз.						УДУНТ; ННІ «ДІТ» ЕТ2021		
Н. Контр.		Васильєв В.Є.						
Затверд.		Афанасов А.М.						

4 Інноваційні можливості використання світлодіодної техніки на локомотивах	65
4.1 Аналіз питань безпеки при руху локомотива в кривих	65
4.2 Розробка прожектора локомотива з функцією змінною діаграми спрямованості	73
4.3 Варіанти реалізації системи управління шириною променю прожектора	78
4.4 Розробка системи передачі інформації для локомотива через атмосферну оптичну лінію зв'язку	90
4.5 Висновки по розділу	95
Висновок	96
Перелік посилань	97
Додатки	99
Додаток А – Перелік мультимедійних демонстраційних матеріалів	100
Додаток Б - Мультимедійні демонстраційні матеріали	101

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АОЛЗ - атмосферна оптична лінія зв'язку;

АОСПІ - атмосферно-оптична система передачі інформації;

ДС - діаграма спрямованості;

ЕКС - єдина комплексна система управління і забезпечення безпеки руху
на тяговому рухомому складі;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

КСС - крива сили світла;

ЛР - лампа розжарювання;

МДВ - метеорологічна дальність видимості;

РС - рухомий склад;

СДМ - світлодіодна матриця ;

СД – світлодіод;

СТ - світлове тіло;

СЦБ - сигналізація, централізація і блокування;

ПММА – поліметілметакрілат (органічне скло).

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Забезпечення безпеки руху поїздів є ключовим завданням в системах управління процесами перевезень на залізничному транспорті

Елементи безпеки на залізничному транспорті в багатьох випадках характеризуються постійністю в реалізації, що об'єктивно можна пояснити існуючими традиціями, які склалися протягом багатьох десятиліть і які до недавнього часу повністю задовольняли вимогам, що пред'являються до цих пристроїв.

Зокрема, до недавнього часу практично вся світлотехніка пристроїв автоматики і телемеханіки виконувалася на основі застосування ламп розжарювання (ЛР). За останнє десятиліття відбувалося бурхливий розвиток світлотехнічних виробів на основі світлодіодів (СД) і світлодіодних матриць (СДМ). Основні переваги, які дозволили даних виробів впровадитися практично в усі види світлотехнічних виробів полягають в наступному: великий час безвідмовної роботи, власне випромінювання в різних спектральних діапазонах, різні розміри світлового тіла (СТ), різні діаграми спрямованості (ДС) власної та вторинної оптики, висока світлова віддача.

Першими перетворенню піддалися вироби сигналізації централізації блокування (СЦБ) для підлоги апаратури - світлофори. Зараз все більше технічних рішень на основі світлодіодів можна зустріти і на рухомому складі (РС) залізничного транспорту, наприклад, головне джерело світла (прожектор), внутрішнє освітлення кабіни машиніста і сигнальні (буферні) ліхтарі. Крім того, в останні кілька років розвивається напрямок застосування високошвидкісної передачі інформації шляхом використання відкритих оптоелектронних каналів.

Актуальність теми дослідження. В даний час на мережі залізниць України відбувається широке впровадження пристроїв оптоелектроніки і, зокрема, світлодіодної техніки. Очевидно, що це торкнулося і рухомого складу. Сучасний стан і підхід до розробки оптоелектроніки локомотивів має ряд недоліків. Стандартні системи загального освітлення локомотива мають значні габарити, що негативно позначається на якості освітлення робочого місця машиніста і приводить до наявності паразитних віддзеркалень в лобових вікнах кабіни. Для вирішення порушених питань виникає необхідність збільшення розмірів кабіни машиніста і проектування складних конструкцій скління.

Застосування ламп розжарювання в існуючих лобових прожекторах локомотива призводить до значного числа їх відмов, що негативно впливає на безпеку і графік руху. Діаграма спрямованості випромінювання існуючого прожектора недостатньо освітлює колію, що лежить попереду і не дозволяє машиністу оперативно реагувати на небезпеку. Крім того, в кривих промінь

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лобового прожектора не освітлює ділянку колії, що лежить попереду, через що істотно знижується безпека руху. Велика яскравість випромінювання лобового прожектора засліплює зустрічну локомотивну бригаду, що обумовлює погіршення умов безпеки.

В даний час використання прогресивних ліній зв'язку на основі оптичних елементів для потреб локомотива обмежена. Відомо застосування атмосферних оптичних ліній зв'язку, однак застосування їх на залізниці має ряд невирішених технічних питань. Зокрема, є проблема точного наведення джерела сигналу на приймач, а також ряд інших.

У вирішенні поставлених завдань полягає актуальність виконаної магістерської роботи.

Актуальність теми підтверджують наступні галузеві документи:

- Транспортна стратегія України на період до 2030 року [1];
- Стратегія розвитку залізничного транспорту в Україні до 2030 року [2];
- Концепція інформаційної підсистеми багаторівневої системи управління і забезпечення безпеки руху поїздів [3].
- Концепція комплексної програми «Впровадження світлодіодної техніки в ПАТ «Укрзалізниця» [4].

В результаті виконання роботи було зроблено:

1 Запропоновано нові види систем світильників загального освітлення, що виключають виникнення паразитних віддзеркалень на лобовому склі кабіни машиніста.

2 Запропоновано методику розробки модульного вузькоградусного прожектора локомотива з точки зору мінімізації втрат у вторинній оптиці.

3 Запропоновано широка КСС для модульного прожектора рухомого складу і спосіб її зміни, що забезпечує безпеку руху в кривих і виключає осліплення зустрічній локомотивної бригади.

4 Запропоновано принцип реалізації АОЛЗ для передачі телемеханічної інформації між рухомим складом і підлоговим обладнанням залізниць.

Модульна вузькоградусна система прожектора дозволяє знизити споживання енергії від системи електропостачання локомотива в 3,5 рази в порівнянні зі стандартним прожектором на основі ЛР. Модульний принцип побудови дозволяє системі залишатися працездатною і дозволяє безпечно продовжити руху при відмові окремих модулів.

В ході виконання магістерської роботи застосовувалися методи аналітичної геометрії, математичного і фізичного моделювання.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗВИТОК СВІТЛОДІОДНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Історія розвитку та сучасний стан світлодіодної техніки локомотива

Світлодіод - напівпровідникове джерело некогерентного оптичного випромінювання, принцип дії якого заснований на явищі електролюмінесценції при інжекції неосновних носіїв заряду через гомо або гетеро р-п перехід [5-7]. Склад і фізичні властивості гетероструктури визначають довжину хвилі випромінювання світлодіодного чіпа.

Початок історії світлодіодів видимого діапазону датується 1962 р. після відкриття випромінювання р-п переходу GaAsP. Серійний випуск був налагоджений фірмою Монсанто в 1968 р Світлодіодний кристали, що випускаються цією фірмою, випромінювали в червоному спектрі [8].

У 1969 р було створено перші монокристали GaN в аміачному середовищі методом газофазної епітаксії при температурі 850°C. Исаму Ікасаки зі співавторами в 1985 р отримали бездефектний GaN на сапфіровій підкладці використовуючи газофазну епітаксію з металоорганічних сполук. У 1992 р. було показано, що на квантовий вихід нітридних світлодіодів не впливає велика концентрація дислокацій, на відміну від світлодіодів на основі арсенідів і фосфітів. Крім того, система InGaN / GaN може бути застосовна для створення білих світлодіодів.

Сучасні світлодіоди можуть бути класифіковані за декількома принципами:

- 1) по корпусу: круглі, овальні, спеціальної форми;
- 2) за кольором: одноколірні, білі, кольорові;
- 3) по потужності: до 0,5 Вт, до 1 Вт, більше 1 Вт;
- 4) за кількістю кристалів: монокристальних, багатокристальні;
- 5) за типом КСС: широка, косинусна, глибока і т.п.

В даний час світлодіоди виробляються багатьма великими підприємствами, в тому числі і українськими: Cree, Inc; Kingbright; OSRAM GmbH; Nichia, ЗАТ «Світлооптоелектроніка».

Залежно від місця застосування виробу на основі світлодіодів, для забезпечення оптимального світлорозподілу, крім власне світлодіодів, зазвичай застосовуються елементи вторинної оптики, основне завдання яких - перенаправити світло світлодіода в потрібному напрямку.

Серед виробників вторинної оптики можна відзначити: Ledil Oy, Carclo Optics, Ledlink Optics Inc. Вторинна оптика проводиться на основі різного роду пластиків, силікону або алюмінію.

Однією з проблем, що перешкоджає широкому впровадженню

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлодіодних систем на залізничному транспорті, є висока вартість виробів, обумовлена, перш за все, вартістю самих світлодіодів. Незважаючи на це, ринок світлодіодних виробів інтенсивно зростає. Зростання ринку відбувається завдяки можливості високої грошової віддачі за рахунок низької вартості обслуговування і високої енергетичної ефективності пропонованих виробів.

Іншою проблемою, що перешкоджає широкому використанню світлодіодних виробів є слабка нормативна база, яка почала розвиватися відносно недавно. Більшість стандартів для залізниць на території України було видано в 80-х роках. Однак в останні роки більшість з них зазнали перевидання.

Новими дослідженнями і переробкою стандартів для залізниць в Україні займаються такі інститути як: ДНУЗТ, ХДАЗТ, УкрНДД «Електровозобудування». Дані стандарти регламентують координати кольоровості, колірну температуру, тип застосовуваних випромінювачів, кути поширення світла, рівні освітленості і силу світла виробів, які застосовуються в тих чи інших областях на залізниці.

У США подібними дослідженнями займаються науково-дослідні інститути: ITE, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.

В Україні виготовленням світлодіодного світлотехнічного обладнання для ПС залізниці займаються такі підприємства як: ЗАТ «Транс-Сигнал», ТОВ «Корвет-Лайтс». Серед зарубіжних компаній-виробників можна відзначити: Helmholz & Pauli GmbH, MSV elektronika sro, Pintsch Bamac GmbH.

ЗАТ «Транс-Сигнал» випускає для ПС залізниці сигнальні (буферні) ліхтарі червоного і білого кольорів. Принцип їх роботи полягає в використанні вузькоградусних світлодіодів в парі з фокусуючими циліндричними лінзами. Ефект полягає в додатковому збільшенні осової сили світла за рахунок зменшення розбіжність світлового пучка по вертикалі. ТОВ «Корвет-Лайтс» випускає світильники для освітлення внутрішніх приміщень, буферні ліхтарі, лобовий прожектор. Буферні ліхтарі випускаються в суміщеному корпусі, скло виконано рельєфним для зменшення габаритної яскравості. Прожектори випускаються в двох модифікаціях: ЛПБ-01 характеризується застосуванням модульної конструкції і лінзи Френеля, ЛПБ-03 характеризується цілісним корпусом і застосуванням асферичних лінз.

Pintsch Bamac GmbH випускає прожектор для Desiro RUS, який характеризується застосуванням спільно шірокоградусної і вузькоградусної оптики.

Енергетичні та оптичні характеристики виробів більшості виробників лежать в одному діапазоні. Споживана потужність становить 10-30 Вт для

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буферний ліхтарів, 150-200 Вт для лобового прожектора.

1.2 Особливості застосування світлодіодів в світлосигнальній системі безпеки локомотива

Для досягнення необхідного рівня освітленості колії перед локомотивом нормами безпеки залізничного транспорту нормується осьова сила світла прожектора. При цьому, нормується наявність двох режимів роботи прожектора «яскраво» і «тьмяно», останній включається при русі поїздів назустріч один одному на двопутних і багатоколійних ділянках і при маневруванні на не приймально-відправних коліях.

Стандартним рішенням для виконання норм безпеки є використання вузькоградусного прожектора з лампою розжарювання (рисунок 1.1), наприклад, ПШ 50-500 (характеристики: 50 В, 500 Вт, 11100 Лм, середній час горіння: 560 годин [9]).

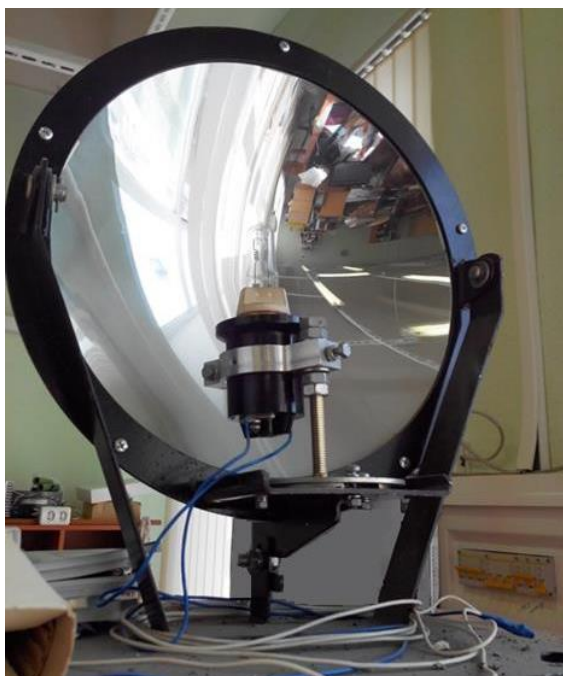


Рисунок 1.1 - Конструкція лампового прожектора локомотива

Лампа розжарювання - електричне джерело світла, в якому тіло розжарення, поміщене в прозорий вакуумований або заповнений інертним газом балон, нагрівається до високої температури за рахунок протікання через нього електричного струму, в результаті чого випромінює в широкому спектральному діапазоні, при цьому, велика частина енергії випромінюється в червоному і інфрачервоному спектрі. Спектр лампи розжарювання наведено на рисунку 1.2.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	11

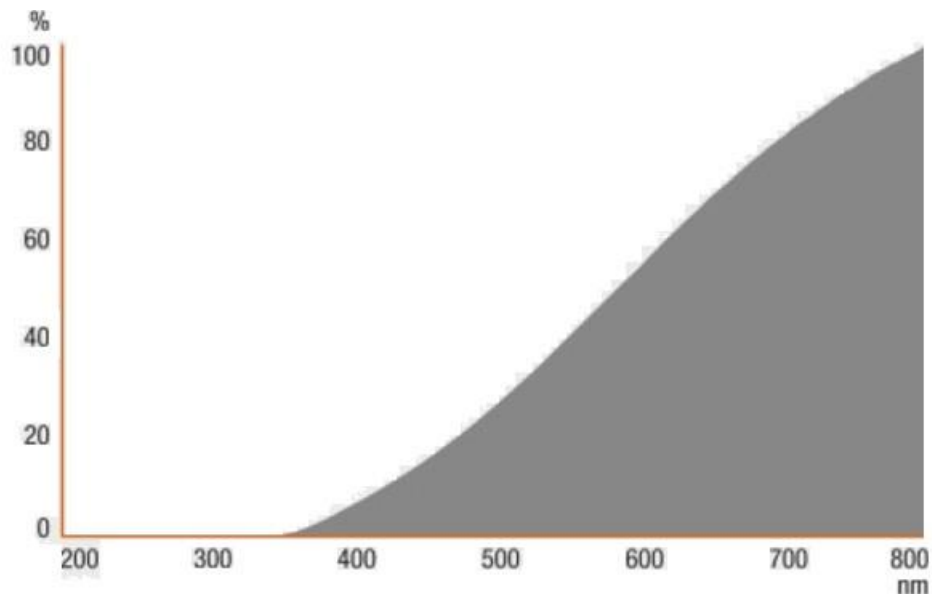


Рисунок 1.2 - Спектр галогенової лампи розжарювання

Труднощі застосування лампи розжарювання на залізничному транспорті в першу чергу визначаються низьким терміном служби виробу. Середній термін служби лампи розжарювання зазвичай вказується для лампи, що постійно горить, додатково його скорочує безліч факторів, найбільш значні це навантаження на спіраль з боку сили Лоренца через велику струму, що протікає через неї в момент включення, механічні навантаження, викликані вібраційним впливом на нитку, нестабільності напруги мережі живлення (особливо в електровозах старих модифікацій).

Параметри світлового потоку і терміну служби лампи розжарювання змінюються при зміні напруги живлення за наступними законами (зміна напруги живлення не більше $\pm 10\%$):

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{3.6}, \quad (1.1)$$

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{-11.2}, \quad (1.2)$$

де Φ_0 - світловий потік лампи при напрузі U_0 , Лм; τ_0 - термін служби лампи при напрузі U_0 , годин; U_0 - номінальне значення напруги лампу напруги, В; Φ - світловий потік лампи при напрузі U , Лм; τ - термін служби лампи при напрузі U , годин; U - реальне значення напруги лампу напруги, В.

Зміна часу життя і світлового потоку лампи при зміні напруги живлення

					Арк.
					12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

наведені на рисунку 1.3.

Таким чином, при збільшенні напруги живлення на 10% термін служби скорочується на 63%, а світловий потік збільшується на 41%, при зменшенні напруги живлення на 10% термін служби збільшується в 3,25 рази, а світловий потік зменшується на 31%. Стає очевидно, що для забезпечення безпеки руху за допомогою прожектора на основі лампи розжарювання необхідно використовувати додаткові стабілізатори напруги високої потужності, що негативно відіб'ється на надійності тому в схему вводиться додатковий складний електронний елемент.

Для усунення великих пускових струмів лампи розжарювання зазвичай застосовують електронні стабілізатори з додатковою функцією плавного запуску навантаження. Зменшення вібраційних і ударних навантажень можливо за допомогою різного роду демпферів.

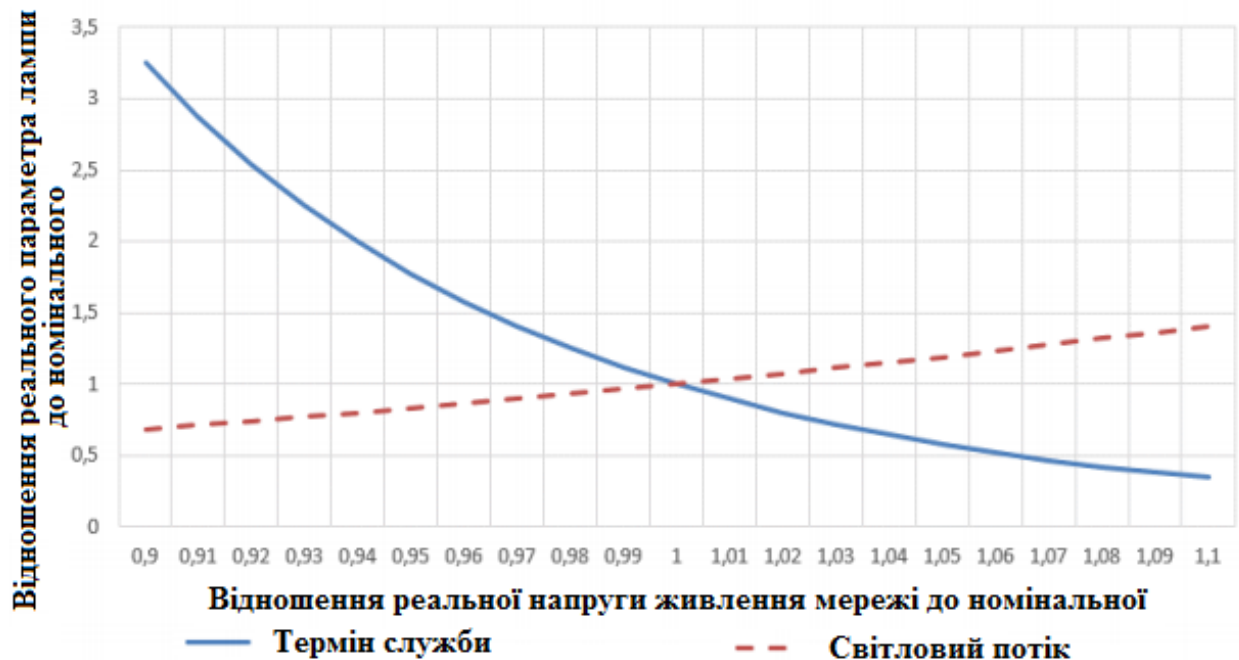


Рисунок 1.3 - Зміна світлового потоку і терміну служби лампи в залежності від напруги живлення.

Спектр світлодіодів, випромінювання білого світла яких було отримано за допомогою кристала, що випромінює в синьому діапазоні, і люмінофора, різній колірній температури, представлений на рисунку 1.4.

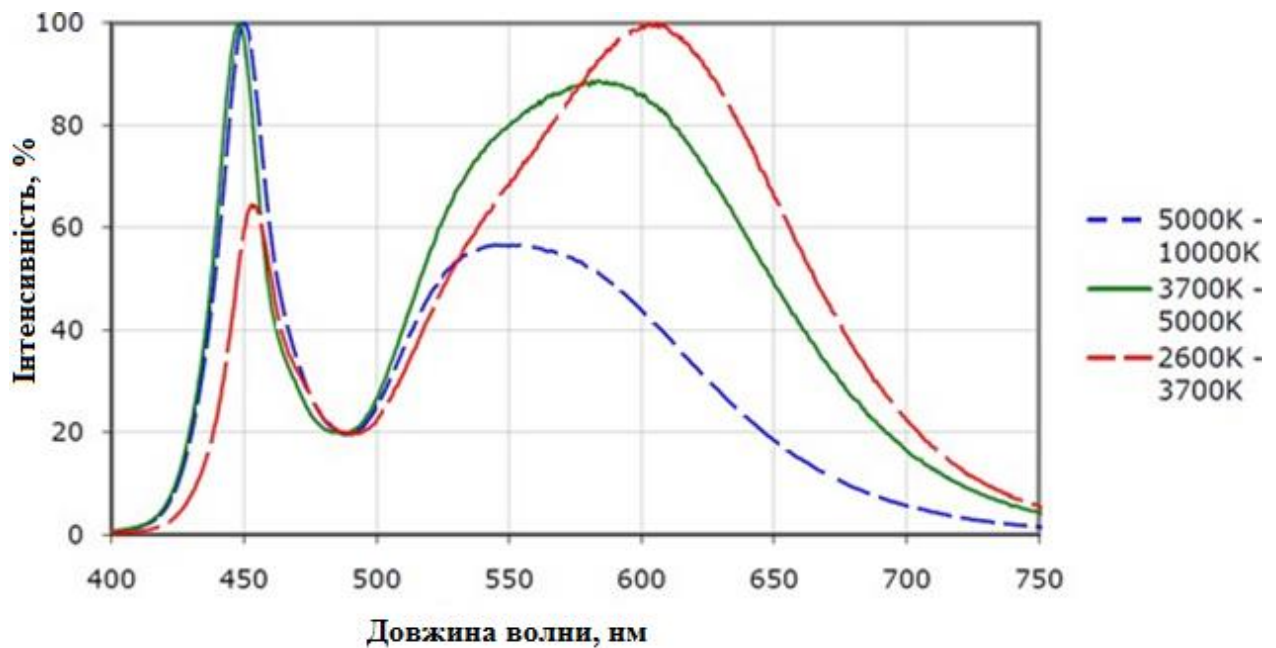


Рисунок 1.4 - Спектр світлодіодів різній колірній температури на основі синього випромінювання кристала [10]

На основі рисунка 1.4 можна зробити висновок про те, що спектр світлодіодів має безперервний характер і практично повністю знаходиться у видимій для людського ока області.

Світловий потік світлодіода залежить від сили струму, що протікає через нього. Типова залежність представлена на рисунку 1.5 [10]. Для підтримки стабільного струму світлодіодів до складу світлодіодних виробів вводять електронні стабілізатори. На відміну від стабілізаторів для лампи розжарювання, стабілізатори для світлодіодів характеризуються меншою потужністю, що віддається в навантаження. На основі рисунка 1.5 можна зробити висновок про те, що зміна струму, який протікає через світлодіоди в межах $\pm 10\%$ викликають зміни світлового потоку менш ніж на $\pm 10\%$, таким чином, стабілізатори для світлодіодів можуть мати менший прецизійністю ніж стабілізатори для лампи розжарювання. Очевидно, що це спрощує їх електричну схему і підвищує надійність обладнання.

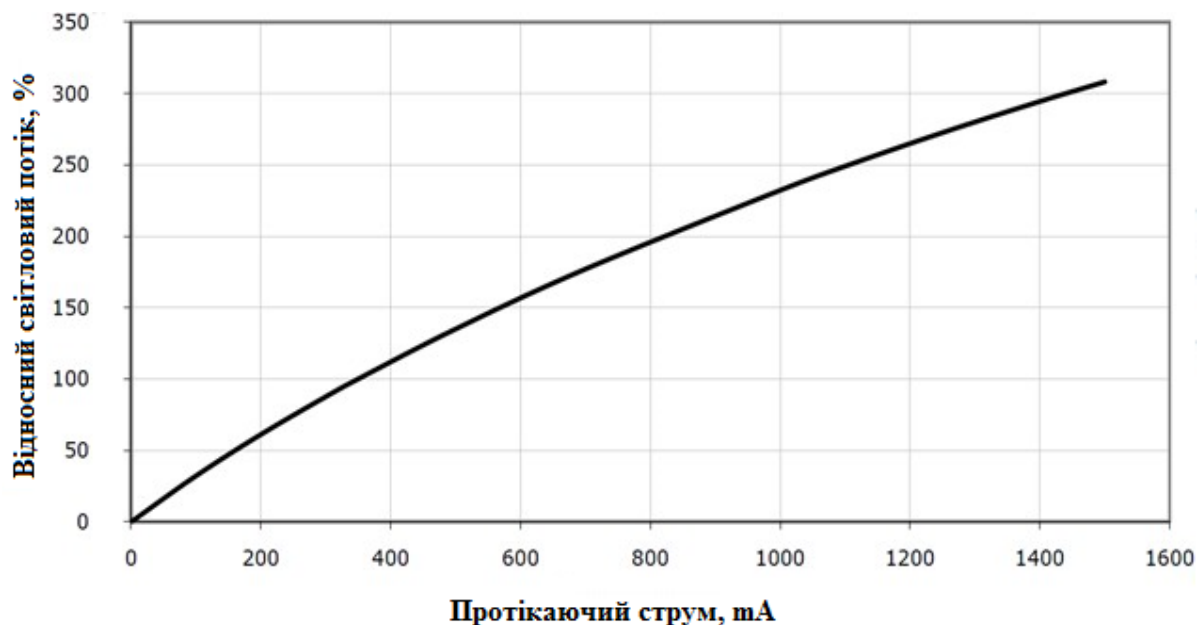


Рисунок 1.5 - Залежність світлового потоку світлодіода від величини сили струму через нього [10]

Термін служби СД досягає декількох десятків тисяч годин, під час яких світловий потік СД поступово зменшується. Прийнято, що втрата 30% світлового потоку вважається відмовою СД. Основна характеристика, що відповідає за тривалість роботи світлодіода - температура напівпровідникового кристала: чим вона вище в робочому режимі приладу, тим швидше зменшується світловий потік, і як наслідок менше служить весь прилад. Характерні залежності середнього часу використання світлодіода до рівня 0,7 наведені на рисунку 1.6 [10, 11].

Таким чином, для забезпечення тривалого терміну служби світлодіодних виробів необхідно ефективно відводити тепло від кристала для цього необхідно правильно розрахувати втрати в кристалі, тому що не вся електрична потужність світлодіода перетвориться у видиме світло, а великий обсяг радіатора підвищує собівартість кінцевого виробу. Зазвичай виробники потужних світлодіодів вказують світловий потік своєї продукції з одного вата потужності, що підводиться. Для того щоб перевести світловий потік в люменах в вати і розрахувати ККД перетворення необхідно використовувати наступні вирази [10, 11].

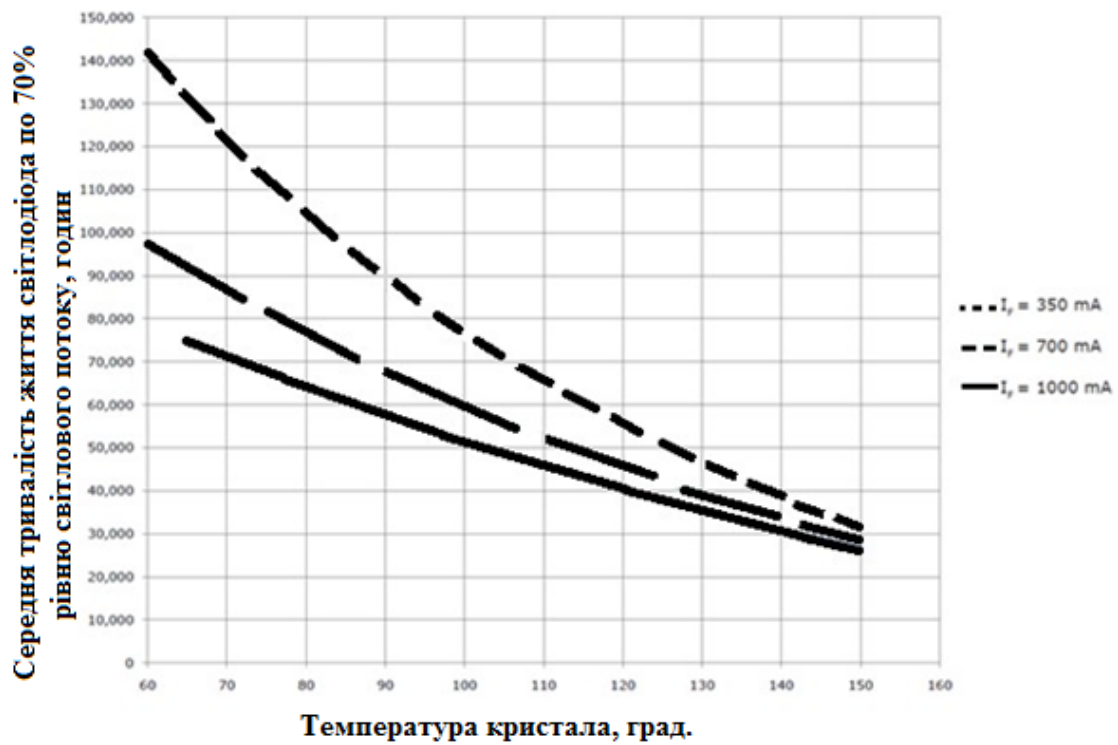


Рисунок 1.6 - Середній час ефективного використання СД

$$K = 683 \frac{\int_{780}^{360} E(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda}{\int_{780}^{360} E(\lambda) d\lambda}, \quad (1.3)$$

де K - світлова віддача, Лм/Вт; λ - довжина хвилі випромінювання, м; $V(\lambda)$ - функція чутливості ока; $E(\lambda)$ - нормалізована функція спектральної щільності, м^{-1} .

$$\Phi_p = \frac{\Phi}{P}, \quad (1.4)$$

де P - потужність, споживана СД, Вт; Φ - світловий потік світлодіода при електричній потужності, споживаній СД, Лм; Φ_p - світловий потік світлодіода на ватт споживаної потужності. ККД світлодіода η можна обчислити таким чином.

$$\eta = \frac{\Phi_p}{K} \quad (1.5)$$

При використанні даного розрахунку слід пам'ятати, що від світлодіода до світлодіода спектральна щільність і світловий потік дещо змінюються, також ці параметри змінюються при нагріванні кристала в процесі роботи. Однак, всі необхідні дані зазвичай можна знайти в технічному описі на світлодіод.

Іншим аспектом безпеки руху є забезпечення норм загального освітлення кабіни машиніста локомотивом.

Для практичної реалізації норм освітленості можуть бути використані різні методи розрахунку.

Метод розрахунку освітленості за питомою потужністю є найбільш простим. Відповідно до нього потужність ламп для освітлення заданої площі освітлюваного приміщення знаходиться з виразу:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уд}} F, \quad (1.6)$$

де $P_{\text{уд}}$ - питома потужність на одиницю площі, Вт/м²; F - площа освітлюваного приміщення, м².

Питома потужність залежить від характеристики освітлюваного приміщення, типу і потужності ламп, типу світильників, висоти підвісу і розміщення світильників.

Недоліком даного методу є невисока точність визначення характеристик освітленості.

Метод коефіцієнта використання призначений для розрахунку загального освітлення в закритих приміщеннях при симетричному розташуванні світильників. Розрахунок освітлення в приміщенні починають з розміщення світильників. При цьому враховують конфігурацію приміщення і відбиття світла від стін і стель.

Визначається розрахунковий світловий потік однієї лампи для забезпечення необхідної за нормами освітленості:

$$\Phi = \frac{E_n K_{\text{зап}} F z}{n \eta}, \quad (1.7)$$

де E_n - нормована освітленість, Лк; F - площа поверхні, що освітлюється, м²; $K_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу, що враховує старіння і запиленість джерел світла та арматури, забруднення стін і стелі; n - число світильників (як правило, намічається до розрахунку); z - коефіцієнт мінімальної освітленості, рівний

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{н}}}, \quad (1.8)$$

де $E_{\text{ср}}$ - середня освітленість, Лк; η - коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла:

$$\eta = \frac{F}{h(L + B)}, \quad (1.9)$$

де h, L, B - висота, довжина, ширина приміщення відповідно, м.

Недоліком методу є неточність виявлення мінімальної освітленості і місць її прояви. Метод широко використовується тільки для визначення середньої освітленості горизонтальних поверхонь.

Точковий метод розрахунку освітлення застосовується для розрахунку загального рівномірного і локального освітлення, місцевого освітлення незалежно від розташування освітлюваної поверхні при світильниках прямого світла. Відповідно до цього методу освітленість визначається в кожній точці розраховується поверхні, щодо кожного джерела освітлення.

При розрахунку освітлення горизонтальних і вертикальних поверхонь в загальному випадку користуються монограмами Ратнера.

Освітленість E залежить від світлорозподілу світильників, розрахункової висоти і відстані проекції світильника на робочу поверхню до контрольної точки.

Недоліком цього методу є необхідність виконання великої кількості однотипних розрахунків по визначенню освітленості в різних точках освітлюваної поверхні.

Найбільш раціональним для розрахунку освітленості є застосування різних пакетів програм, зокрема: Dialux, TracePro, що моделюють функціонування оптичних систем. Для використання цих програм необхідно мати точні світлотехнічні моделі виробів, які плануються застосовувати, а також точно побудоване місце застосування.

1.3 Історія розвитку та сучасний стан атмосферної оптичного зв'язку

Питання підвищення надійності функціонування залишаються актуальними для пристроїв зв'язку рухомого складу залізниці. Необхідно передавати різного роду інформацію на локомотив і з нього, а також відстежувати завантаженість ліній.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час способи передачі інформації на залізничному транспорті різноманітні:

1. використання рейкового кола;
2. використання радіоканалу;
3. використання супутникових систем.

Використання різних способів і їх комбінацій для передачі інформації призначене для підвищення надійності, а також достовірності інформації, що передається.

Основна причина при якій виникає необхідність мати кілька резервних каналів для передачі інформації - складна електромагнітна обстановка, що приносить перешкоди в тракти передачі інформації. Захистом від перешкод можуть бути фільтри або завадостійке кодування (наприклад, використання контрольної суми).

Використання фільтрів призводить до збільшення вагогабаритних параметрів виробів, використання завадостійкого кодування призводить до зменшення пропускної здатності каналу передачі даних.

В останні роки проводиться впровадження альтернативного способу передачі даних: атмосферна оптична лінія зв'язку (АОЛЗ) - вид зв'язку, який використовує оптичний діапазон сигналу і передає сигнали через атмосферу або вакуум. При цьому пропонується використовувати світлодіоди або лазери видимого або інфрачервоного спектра. Застосування оптичного каналу дозволяє уникати складнощів, пов'язаних з ЕМС оточуючих прилади об'єктів.

Технологія бездротової передачі даних по радіоканалу на даний момент є дуже поширеною технологією. Причиною цього є те, що радіохвилі поширюються у вакуумі і в атмосфері; незважаючи на те, що земна твердь і вода для них непрозорі, завдяки ефектам дифракції та відображення, стає можливий зв'язок між точками, які не мають прямої видимості.

Передача здійснюється наступним чином: на передавальній стороні формуються високочастотні коливання (несуча частота). На несучу частоту накладається сигнал, який потрібно передати - відбувається модуляція корисним сигналом. Сформований таким чином сигнал випромінюється антеною в простір. На приймальній стороні він надходить в радіоприймач, після чого система фільтрів виділяє з безлічі наведених в антені струмів від різних передавачів сигнал з потрібною частотою, а детектор виділяє з нього модулюючий корисний сигнал. Зазвичай, одержуваний сигнал відрізняється від переданого сигналу передавачем внаслідок впливу зовнішньої перешкоди.

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поширення радіохвиль від джерела до приймача може відбуватися декількома шляхами одночасно. Внаслідок цього і змін параметрів середовища, виникають завмирання - зміна рівня сигналу в часі. Технологія радіоканалу має такі недоліки.

У зв'язку з тим, що сигнал радіоканалу передається в усіх напрямках, представляється можливим підключитися до мережі і зламати її.

Оптична зв'язок здійснюється шляхом передачі інформації за допомогою електромагнітних хвиль оптичного діапазону. У 60-і роки ХХ століття були створені лазери і з'явилася можливість побудови широкосмугових систем оптичного зв'язку [12].

Оптичні системи зв'язку поділяються на відкриті, де сигнал передається в атмосфері або вакуумі, і закриті використовують світлопроводи.

Основна причина затребуваності цієї технології полягає у величезному потенціалі передавати великі обсяги даних на високих швидкостях в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль [12].

АОЛЗ початок бурхливо розвиватися після винаходу газового лазера в 1960 році. Перша експериментальна АОЛЗ довжиною 4,5 км була побудована силами ЦНДІЗ МС СРСР в 1965 році. Протягом 6 років було побудовано ще п'ять АОЛЗ в тому числі в Єревані (28км), Куйбишеві (5 км), Клайпеді (1,6 км) [56, 57]. Результати дослідної експлуатації АОЛЗ протягом 3-х років показали, що коефіцієнт готовності АОЛЗ становив від 0,72-0,73 (28 км) до 0,96-0,97 (1,6 км).

Основною причиною відмов були тумани і снігопади.

Таким чином, чим більший час простоїв допускається, тим більше протяжну АОЛЗ можна проектувати.

АОЛЗ двох об'єктів здійснюється за допомогою з'єднання типу «точка-точка». Технологія ґрунтується на передачі даних модульованим випромінюванням.

Системи АОЛЗ працюють в двох діапазонах довжин хвиль, що пов'язано з вікнами прозорості атмосфери: 780 - 850 нм і 1520 - 1600 нм. Зазвичай, системи АОЛЗ з довжиною хвилі 1520 - 1600 нм використовуються для передачі даних з більш високою потужністю і на великі відстані.

Переваги відкритого оптичного каналу:

- 1) Устаткування FSO працює в діапазоні 400 ТГц, а значить, не потребує ліцензування та процедури виділення частот,
- 2) бездротові оптичні системи не створюють взаємних перешкод і не чутливі до електромагнітного шуму,

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) для підвищення безпеки радіочастотних мереж зазвичай застосовують кодування і різні засоби захисту інформації, що передається, що зменшує швидкість передачі корисних даних. У відкритій оптичній лінії захист забезпечується за рахунок вузької діаграми спрямованості випромінювання. Для перехоплення інформації необхідно встановити приймач безпосередньо в пучок світла.

На основі роботи [13] можна зробити висновок про те, що основним недоліком АОЛЗ є залежність пропускання атмосферою оптичного випромінювання від погоди.

Поширення лазерного випромінювання в атмосфері супроводжується наступними трьома істотними процесами.

- 1) флуктуаціями сигналу внаслідок рефракції випромінювання на турбулентних неоднорідностях показника переломлення повітря;
- 2) розсіюванням випромінювання на аерозолях,
- 3) екранування випромінювання механічними предметами.

Найпростішим способом зменшення впливу турбулентної рефракції на якість каналу зв'язку, яким користуються розробники, є збільшення розміру приймальної оптичної антени.

Крім молекулярного поглинання поширенню променю заважає молекулярне розсіювання променевої енергії мікрозгустків молекул повітря, що володіють різною щільністю і різними показниками заломлення. Ці неоднорідності в газовому середовищі досить нестабільні і залежать від місцевих температурних умов, пори року і доби, а також від вмісту домішок в кожній конкретній мікрзоні атмосфери. Молекулярне розсіювання досить добре вивчено. Складено великі таблиці коефіцієнтів розсіювання в видимій та інфрачервоній областях спектру, що забезпечують досить точний кількісний розрахунок втрат енергії випромінювання на заданій відстані [13]. Цей тип розсіювання не робить істотної шкоди АОЛЗ на відміну від аерозольного розсіювання, яке буде розглянуто нижче.

Атмосфера являє собою механічну суміш з газів, парів, крапель рідини і твердих частинок. У ній завжди в змінному кількості присутні пил, дим, кристалики льоду. Тому атмосфера є аерозолем, склад якого безперервно змінюється через перемішування.

Всі типи атмосферних аерозолів можна об'єднати в наступні основні класи: хмари, тумани, димки, морозь і опади - дощ або сніг. В хмарах і туманах найбільш ймовірне значення радіусу частинок становить 5-6 мкм, а в серпанку на 1-2 порядки менше. Тому ослаблення мікронного випромінювання в серпанку нижче.

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати вимірювань прозорості димок, туманів і опадів в різних кліматичних районах викладені в [13].

Внаслідок складної структури аерозолів в реальній атмосфері розрахунок втрат випромінювання утруднений. На практиці використовують інтегральну характеристику - метеорологічну дальність видимості (S_m).

Сильна злива (рівень опадів 75 мм/год) не заважає лазерної системі передавати дані на відстані до 1.5 км і зі швидкістю до 1 Гбіт/с, в той час як в каналах зв'язку на основі РЛС швидкість передачі може впасти до декількох мегабіт в секунду. Тумани здатні повністю переривати роботу бездротових оптичних систем [12].

Досвід експлуатації АОЛЗ показав, що дощі, тумани і сніг середньої інтенсивності мало впливають на працездатність ліній зв'язку, що володіють достатнім динамічним потенціалом. Основною причиною порушення працездатності останніх є тумани. Крім того, погіршення видимості менше 1000 метрів при заметілі, снігопадах, дощах і мряці має повторюваність не більше 5-10%, решта 90-95% припадають на тумани. Імовірність утворення туману, його характер, інтенсивність і тривалість істотно залежать від широти місця, географічних особливостей, сезону року, характеру атмосферних процесів. З практики відомо, що в одних випадках туман суцільно застилає значну територію, в інших - виникає місцями, тобто має велику просторово-часову мінливість.

Коригування пучка світла застосовується для забезпечення безперебійної роботи АОЛЗ. Приймач дуже сприйнятливий до переміщення або зміщення пучка світла, які можуть бути викликані зовнішніми факторами, наприклад, вітром, змін температури, і т.п. Відхилення можуть бути враховані за допомогою двох видів рішень:

а) використовується вузький, сфокусований пучок світла з автоматичним коректуванням зсуву,

б) використовується широкий пучок світла без коригування.

Системи з автоматичним коректуванням у стані усувати зміщення, до того, як небажане зміщення призведе до порушення передачі. Широкий пучок збільшує зону прийому. Однак серйозним недоліком є те, що більш широкий пучок більшою мірою схильний до загасання і тому більш сприйнятливий до погодних умов [66].

Перешкоди в межах прямої видимості можуть зменшувати швидкість передачі даних. Тимчасові перешкоди, наприклад, птиці, зазвичай не є причиною переривання передачі. Якщо великий об'єкт тимчасово повністю перекриє шлях променю, передача даних буде тимчасово перервана, однак, ця проблема може

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирішена за допомогою повторної передачі [13].

Серед виробників лазерних АОЛЗ систем можна відзначити: Molex, PAV Data Systems Ltd.

Системи FSO CANOBEAM компанії MOLEX мають функцію автоматичної корекції пучка в реальному часі, що дозволяє враховувати відхилення системи при впливі зовнішніх факторів. Передача даних здійснюється на відстань до 2 км зі швидкістю від 25 Мб/с до 1,25 Гб/с (від 100 м до 1 км) [13].

1.4 Висновки по розділу

1. СД, як джерело світла, розвивалися протягом другої половини 20-го століття, і на сьогоднішній момент застосовуються в багатьох світлотехнічних приладах, в тому числі партії світлодіодних виробів представлені на залізниці.

2. Принципова відмінність у фізиці роботи СД від ЛР визначає інший підхід до розробки обладнання на їх основі.

3. Для тривалої роботи світлодіодного кристала при розробці необхідно забезпечити відповідний тепловий режим роботи.

4. В даний час використовується безліч способів розрахунку та моделювання оптичних елементів і систем в цілому, особливу увагу віддається комп'ютерним способам розрахунку.

5. Для надійної роботи АОЛЗ необхідне точне наведення джерела на приймач і облік їх можливих взаємних відхилень.

6. АОЛЗ має широкі перспективи впровадження на залізниці через високу стійкості сигналу до індустриальних перешкод і високої захищеності лінії зв'язку від перехоплення.

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДІВ В ПРИСТРОЯХ ЗАГАЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ КАБІН МАШИНІСТА ЛОКОМОТИВА

2.1. Оптимізація системи загального освітлення кабіни машиніста пристроями на основі світлодіодів

В сучасних локомотивах залізничного транспорту останнім часом в джерелах світла використовуються світлодіодні модулі, що забезпечують порівняно з лампами розжарювання значно більший термін служби і менше споживання електричної енергії [13].

Для тих, що розробляються і капітально відновлених локомотивів потрібно розробити проект освітлення, при якому має місце виконання норм безпеки по освітленості кабіни машиніста [9]. У таблиці 2.1 наведені чисельні значення зазначених норм, які аналізуються в цьому розділі.

Для практичної реалізації норм освітленості, наведених у таблиці 2.1, можуть бути використані різні методи розрахунку.

Таблиця 2.1 - Норми внутрішнього освітлення кабіни машиніста

Режим роботи локомотива	Освітленість на пульті управління, Лк
"яскраве світло"	Від 20 до 60
"тьмяне світло"	Від 2 до 9
Нерівномірність освітленості (відношення максимальної освітленості до мінімальної), не більше	2: 1
Дзеркальне відображення в склі вікон кабіни машиніста приладів, ламп підсвічування приладів, світильників загального, аварійного та місцевого освітлення.	відсутність

В сучасних локомотивах як джерела освітлення кабіни використовуються світлодіодні світильники [13]. Однак, використання світлодіодів в традиційних світильниках з прозорим розсіювачем неприпустимо: світлодіод має високу яскравість, і випадковий погляд машиніста на світильник може викликати локальне тимчасове порушення зору, що відіб'ється на безпеці руху локомотива. Для зменшення яскравості світлодіодів плафон світильника повинен володіти високими світлорозсіючими властивостями. Це визначає принципово нову конструкцію світильника: замість точкового джерела випромінювання (ЛН) застосовуються

світильники розподіленого типу.

При розробках і подальших дослідженнях будемо вважати, що:

- 1) виконуються умови норм: «Лобові вікна повинні забезпечувати хороший огляд, без спотворення кольорів сигналів світлофорів» [14];
- 2) з міркувань забезпечення максимальної надійності світлотехнічного проекту кількість світильників повинно бути більше одного, і кожен повинен мати незалежну систему управління;
- 3) з міркувань економічної доцільності світильники повинні бути рівнозначними, їх кількість повинна бути мінімальною, а розмір відносно не великим;
- 4) з міркувань ергономіки світильники повинні бути вбудованими в стелю і не виступати за його габарити.

Оптимальним положенням світильника загального освітлення можна вважати положення на стелі безпосередньо над головою машиніста. Якщо рухати світильники в сторону вікна, то підвищується ймовірність випадкового погляду на світильник, що може викликати дискомфорт також, зазвичай біля вікна на стелі є антресоль з допоміжним обладнанням, доступ до якої стане обмежений. Якщо рухати світильники від вікна, то під час роботи на пульті управління з'явиться тінь від тіла машиніста, що викличе підвищену нерівномірність освітлення, а значить велику стомлюваність, крім того, питома потужність світильника в цьому випадку буде потрібно більше. Також форму розсіювача світильника слід вибирати з простих форм: прямокутник, квадрат, коло, овал, тому що складніші форми мають більшу собівартість і складністю в виробництві.

На рисунку 2.1 приведений вид зверху на робоче місце машиніста [14].

Принципи конструювання пульта управління наступні: панель управління пульта повинна бути нахилена по напрямку до оператора (машиніста) під кутом від 6 до 10° від горизонтальної площини, а панель інформації - в напрямку від оператора (машиніста) під кутом від 20 до 40° до вертикальної площини (рисунок 2.2).

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

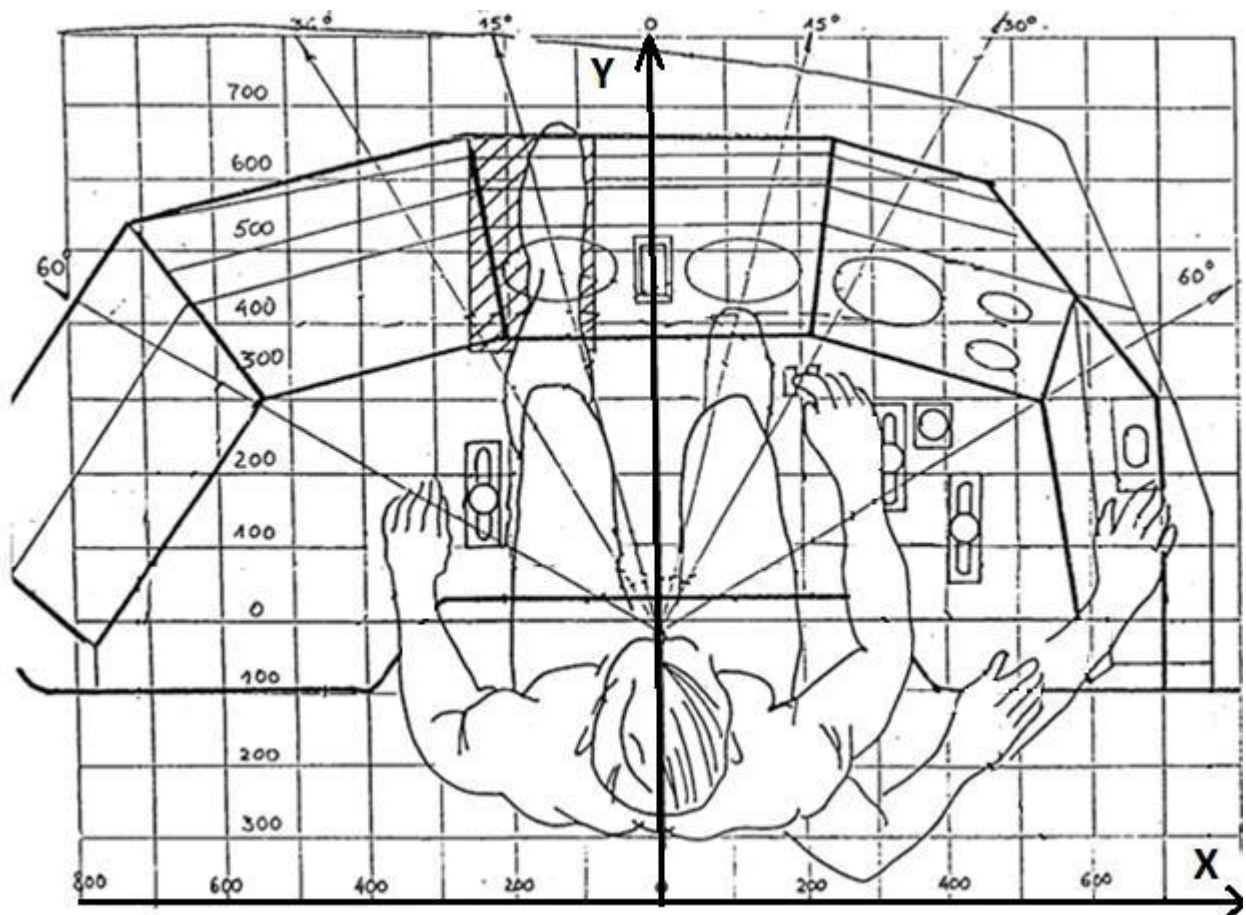


Рисунок 2.1 - Вид зверху на робоче місце машиніста



Рисунок 2.2 - Поздовжній розріз пульта управління

Вимірювання рівнів освітленості і її нерівномірність проводиться по п'яти точках на панелі управління і панелі інформації (рисунок 2.3).

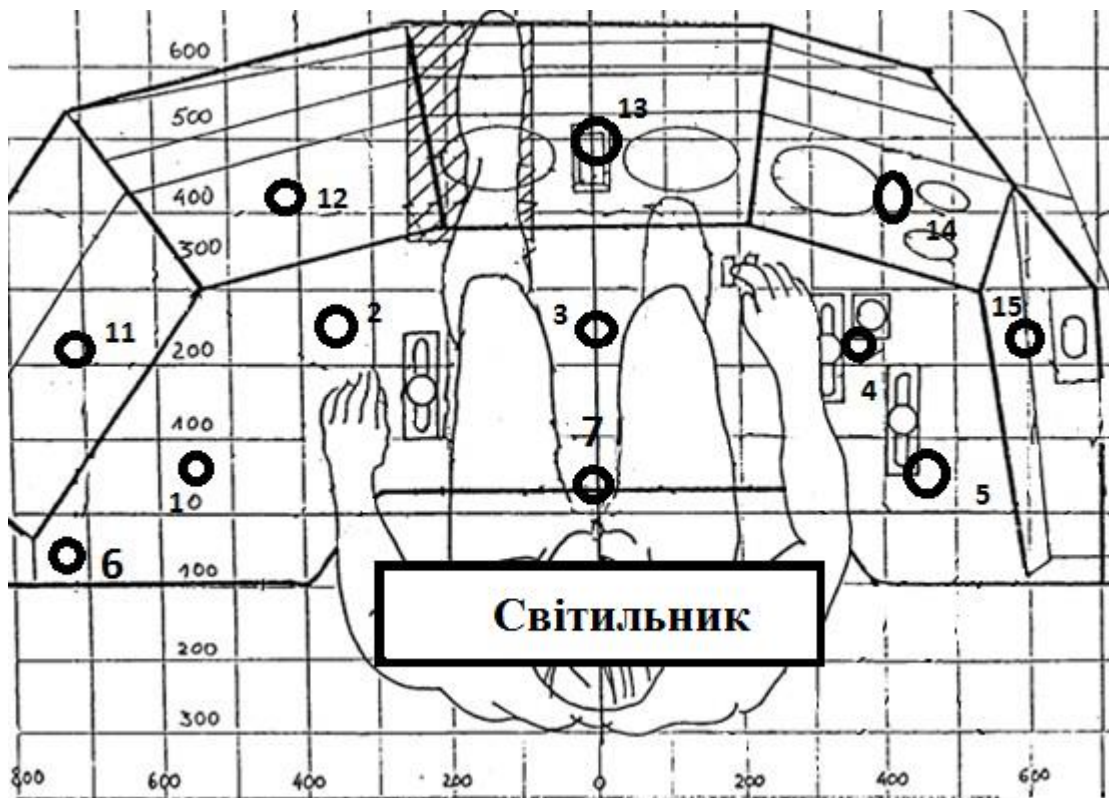


Рисунок 2.3 - Розташування світильника і точок вимірювання

Слід зазначити, що рівномірність освітлення має істотне гігієнічне значення. При різкій різниці в рівні освітленості робочого місця у випадках переведення погляду з світлого на темний ділянку і навпаки очі доводиться кожен раз пристосовуватися до нових умов освітленості (адаптуватися). Так як адаптація як в ту, так і в іншу сторону відбувається поступово, то при перекладі погляду з темного на світлий ділянку і навпаки працездатність очі машиніста буде знижена, що позначиться на безпеці руху локомотива.

Виходячи з вищесказаного, основне завдання світлотехнічного проекту освітлення кабіни машиніста локомотива - створення освітлення з мінімальною нерівномірністю на пульті управління, не більше 2 до 1 відповідно до вимог безпеки.

З огляду на малу відстань від об'єкта освітлення до світильників і те, що плафон світильника має високі світлорозсіючі властивості, розрахунок необхідно вести відповідно до методики точкового розрахунку освітленості від рівномірно яскравого світиться об'єкта [8, 11, 14? 15]:

$$dE = \frac{dI_0 \cos^n \alpha \cos \beta}{L^2}, \quad (2.1)$$

де I_0 -осьова сила світла, Кд; α - кут між напрямком сили світла до точки і віссю симетрії, градус; β - кут між напрямком світла в точку і нормаллю до елемента ds , градус; L - відстань від світиться майданчика до розрахункової точки, м; n - показник ступеня, що відображає форму кривої сили світла.

Світло від рівнояскравої поверхні поширюється по закону косинуса [10], відповідно до чого: $n = 1$.

Припустимо, що кабіна машиніста розташована в ортогональній системі координат, центром системи буде точка (0.0) зазначена на рисунку 2.3.

Використовуючи це припущення, можна висловити змінні, використані в (2.1) через відстань від світиться елемента світильника до освітлюваної точки.

$$\cos\beta = \frac{h \cos\Theta + \sqrt{x^2 + y^2} \sin\Theta}{\sqrt{y^2 + x^2 + h^2}} \quad (2.2)$$

$$\cos\alpha = \frac{h}{\sqrt{y^2 + x^2 + h^2}} \quad (2.3)$$

$$L = \sqrt{y^2 + x^2 + h^2}, \quad (2.4)$$

де h - висота світильника, щодо точки освітлення, м, Θ - кут нахилу розрахункової площини по відношенню до горизонтальної площини, градус; x, y - відстань від світиться елемента світильника до точки вимірювання, м.

Так як поверхня рівнояскрава:

$$dI_0 = L_0 ds, \quad (2.5)$$

де L_0 - габаритна яскравість світильника, Кд/м², s - площа світильника, м²; то урахуванням виразів (2.2) - (2.5) рівняння (2.1) набуде вигляду

$$E = hL_0 \int_s \frac{(h \cos\Theta + \sqrt{x^2 + y^2} \sin\Theta) ds}{(y^2 + x^2 + h^2)^2} \quad (2.6)$$

Для його вирішення розкриємо поверхневий інтеграл за формулою:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\int_s F(m) ds = \int_D F[x, y, g(x, y)] \sqrt{1 + g_x'^2 + g_y'^2} dx dy =$$

$$= \int_D F[x, y, g(x, y)] dx dy, \quad (2.7)$$

де D - область площині OXY обмежена рівнянням $z = g(x, y)$

Тоді вираз (2.6) набуде вигляду.

$$E = L_0 h \int_D \frac{(h \cos \Theta + \sqrt{x^2 + y^2} \sin \Theta) dx dy}{(y^2 + x^2 + h^2)^2} \quad (2.8)$$

Для спрощення розрахунків пропонується світильники у вигляді масиву незалежних світлотехнічних елементів у вигляді квадрата з площею $S \text{ см}^2$, при цьому інтеграл (2.8) заміниться лінійної сумою.

$$E = L_0 S h \sum_{i,j} \frac{(h \cos \Theta + \sqrt{x_i^2 + y_j^2} \sin \Theta)}{(x_i^2 + y_j^2 + h^2)^2}, \quad (2.9)$$

де i, j - порядковий номер відповідної координати світиться елемента; S - площа світиться елемента, м^2 .

У загальному випадку, форма пульта управління може відрізнятися, в залежності від типу кабіни вона може бути трапецеїдальної або L- образної. Також може відрізнятися взаємне положення пульта машиніста і пульта помічника машиніста, яке залежить від типу кабіни і її розміру. Таким чином, оптимізація проекту освітлення повинна проводитися під кожен кабін машиніста окремо.

Розглянемо випадок освітлення тільки одного пульта управління виконаного у вигляді трапеції (рисунок 2.3). При проведенні сертифікаційних випробувань випробувач вимірює освітленість 5-ти (точки 1-5) рівномірно розподілених точок горизонтальної робочої поверхні і 5-ти (точки 11-15) точок вертикальної робочої поверхні (рисунок 2.3). При цьому нерівномірність освітленості оцінюється окремо для вертикальної і горизонтальної робочої поверхні. Також розглянемо точки 6 і 7 як приклад граничного відносини нерівномірності освітлення на робочій поверхні.

Для подальшого аналізу приймемо такі припущення:

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) один світильник висвітлює один пульт, а вплив світильника на другий пульт незначно. Це може бути застосовано для розрахунків кабіни з рознесеними пультами (рисунок 2.4), для суміщеного пульта управління (рисунок. 2.5) при розрахунку необхідно враховувати взаємний вплив світильників;

2) світильник являє собою рівнояскраву поверхню простої форми (припустимо, квадрат або прямокутник, тому що ці форми найбільш просто і дешево виготовити);

3) відображення від стін не враховуємо через те, що на більшій частині стіни знаходиться вікно, на яке, згідно з геометричних побудов, потраплятиме незначна частина світлового потоку світильників;

4) вісь симетрії світильника збігається з віссю симетрії пульта, а проекція центру світильника збігатися з центром голови машиніста (рисунок 2.3).

Провівши серію розрахунків для різних габаритів світильників (ДхШ в мм): 100х150, 150х150, 150х300, 150х800, згідно з виразом (2.9), можна зробити висновок про те, що нерівномірність освітленості поверхні точок 1-5 і 11-15 при перерахованих вище умовах знаходиться в межах 1,1-1,4. При цьому нерівномірність освітлення крайніх точок 6 і 7 знаходиться в межах 1,35 (150х800) -1,68 (150х150), у разі 100х150 розрахунок показав нерівномірність 1,45.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок про те, що при загальному освітленні кабіни машиніста, заснованому на рівнояскравому світильнику, розміри світильника можна робити малими в порівнянні з розмірами робочого місця, що дозволяє здешевити конструкцію світильника при належному рівні забезпечення норм безпеки. Однак, значне зменшення розмірів збільшує габаритну яскравість світильника, випадковий погляд на який може викликати тимчасовий дискомфорт машиніста. Габаритна яскравість визначається світловим потоком від світильника, який в свою чергу залежить від конкретної конструкції кабіни машиніста.

Моделювання освітленості в системі Dialux (рисунок 2.4 і 2.5) підтвердило коректність отриманих рівнянь і достовірність виконаних розрахунків. Результати моделювання наведені на рисунках 2.6 і 2.7.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

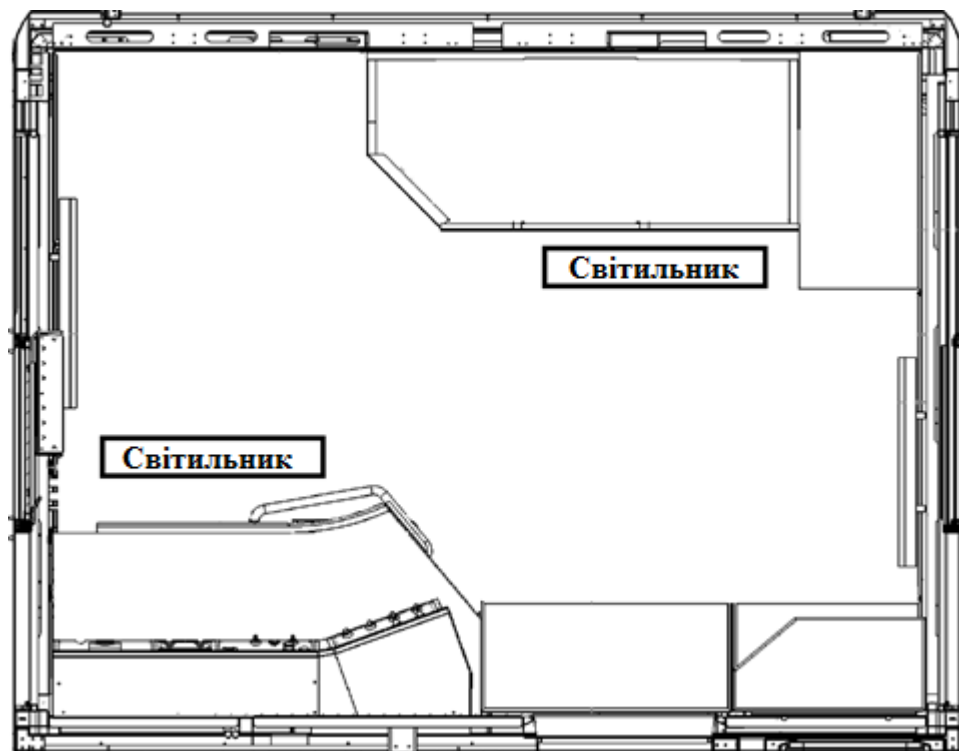


Рисунок 2.4 - Схематична розстановка пультів управління і світильників загального освітлення



Рисунок 2.5 - Пульт управління 2ЕС10

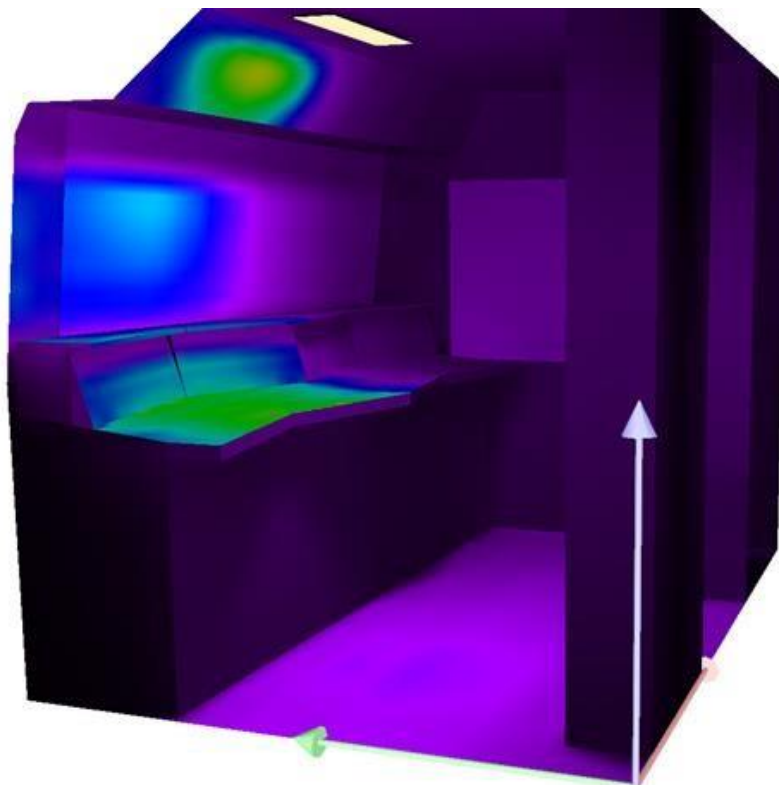


Рисунок 2.6 - Моделювання світильника з габаритами 600x150 мм

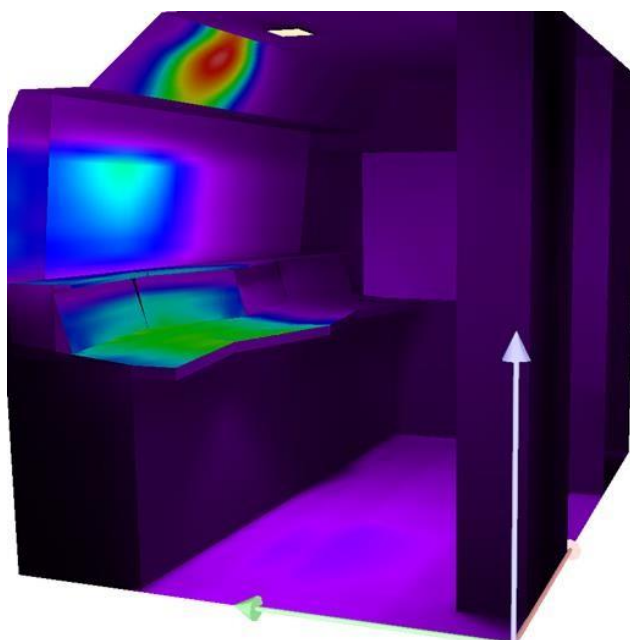


Рисунок 2.7 - Моделювання світильника з габаритами 150x150 мм

2.2. Аналіз системи загального освітлення кабіни машиніста локомотива

Розглянемо особливості маневрових локомотивів з кузовом капотного типу, якими є не забезпечення кругового огляду (360 градусів) для машиніста при

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

виконанні станційних робіт по формуванню поїзних одиниць (на прикладі нового локомотива ТЕМ9Н (рисунок 2.8). Іншою особливістю локомотива ТЕМ9Н є використання в якості джерел освітлення кабіни світлодіодних світильників. Світлодіодний світильник можна представити у вигляді рівнояскравої поверхні кінцевих розмірів. Це створює певні труднощі розташування світильників в кабіні машиніста локомотива з точки зору ліквідації відображень в оглядовому склі.



Рисунок 2.8 - Зовнішній вигляд тепловоза ТЕМ9Н

При виконанні роботи машиніст маневрового локомотива може сидіти в кріслі або, якщо це необхідно, здійснювати рух стоячи.

Наявність і відсутність відбитків пов'язано з положенням очей машиніста щодо лобового скла. Відображення формуються з променів світла від світильника, що падають під таким кутом на лобове скло, що, відбиваючись, вони потрапляють в очі машиніста, що негативно позначиться на безпеці руху.

Наявність широкого лобового вікна в тепловозах ТЕМ9Н є однією з причин появи відображень (рисунок 2.9): в інших конструкціях тепловозів з кузовом капотного типу відображення заднього світильника не з'являється - на місці скла в раніше розроблених локомотивах знаходиться обшивка.

При проектуванні тепловоза прийнята конструкція з плоским склом, яке встановлюються перпендикулярно підлозі. Причиною даного вибору послужила

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

необхідність виконати конструктивний розмір 1-ВМ [15].



Рисунок 2.9 - Відображення від світильників в лобовому склі при положенні машиністів стоячи

Для того щоб зрозуміти наявність відображень в лобовому вікні від світильника необхідно зрозуміти найгірший випадок положення машиніста. У першому наближенні досить скористатися законом відбиття світла і плоским кресленням кабіни машиніста.

Робочим положенням машиніста вважається знаходження його в кріслі (сидить) або перед кріслом (стоїть). Розглянемо ці положення: 1 - високий, машиніст стоїть, 2 - низький, машиніст сидить. Розміри машиніста взяті згідно з нормами на проектування кабін і обладнання моторвагонного рухомого складу залізничного транспорту.

На рисунку 2.10 наведено розріз кабіни машиніста, для двох вищеописаних випадків положення машиніста. Видно, що в положенні 2 машиніст здатний побачити більшу частину стелі, ніж в положенні 1.

На рисунку 2.11 видно, що станеться при відхиленні скла (позитивний нахил) на 15 градусів, можливість попадання відображень від стельових світильників в очі машиніста повинна бути відсутнім.

Склу можна надати негативний нахил. В даному випадку гіршим буде випадок 1, коли високий машиніст стоїть. Згідно побудов, таке рішення менш ефективно і при 15 градусах машиніст бачить велику частину стелі і вибір місця установки світильників залишається складним.

Таким чином, технічне рішення у вигляді скла кабіни встановленого

перпендикулярно підлозі, обумовлене необхідністю виконати вимоги габариту кабіни машиніста, послужило порушенням умови норми: «Лобові вікна повинні забезпечувати локомотивної бригаді в денний і нічний час і при будь-яких погодних умовах хороший огляд, без спотворення кольорів сигналів світлофорів. Кут їх установки повинен підбиратися з урахуванням виключення відображення в них зовнішніх світлових сигналів і внутрішніх джерел світла »[14].

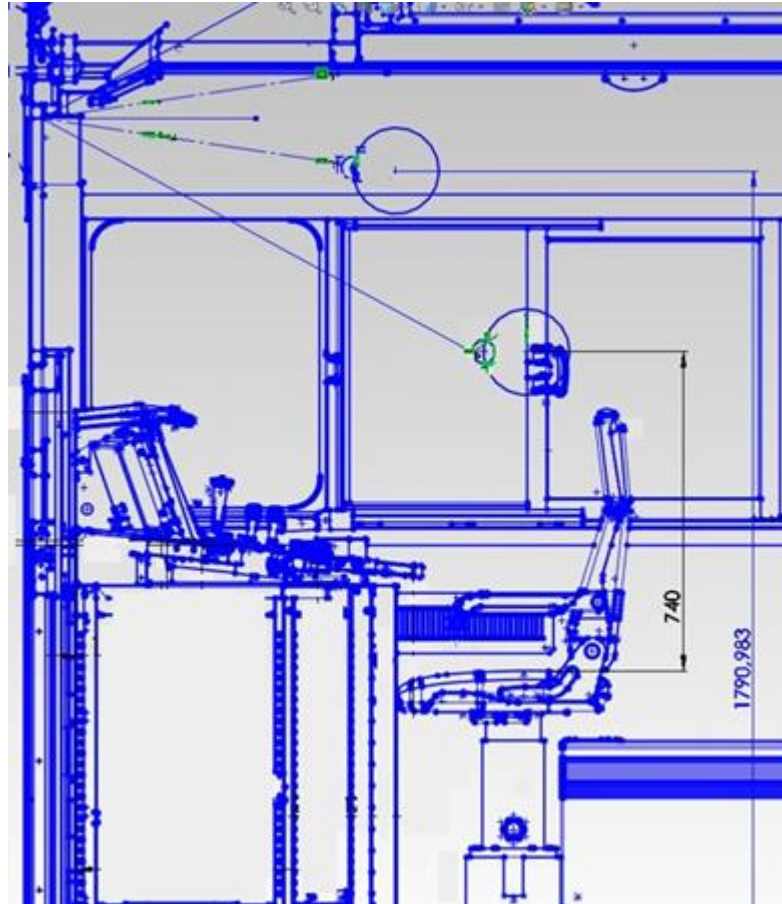


Рисунок 2.10 - Найгірше робоче положення машиніста, де відображення від скла дозволяє бачити весь стелю кабіни

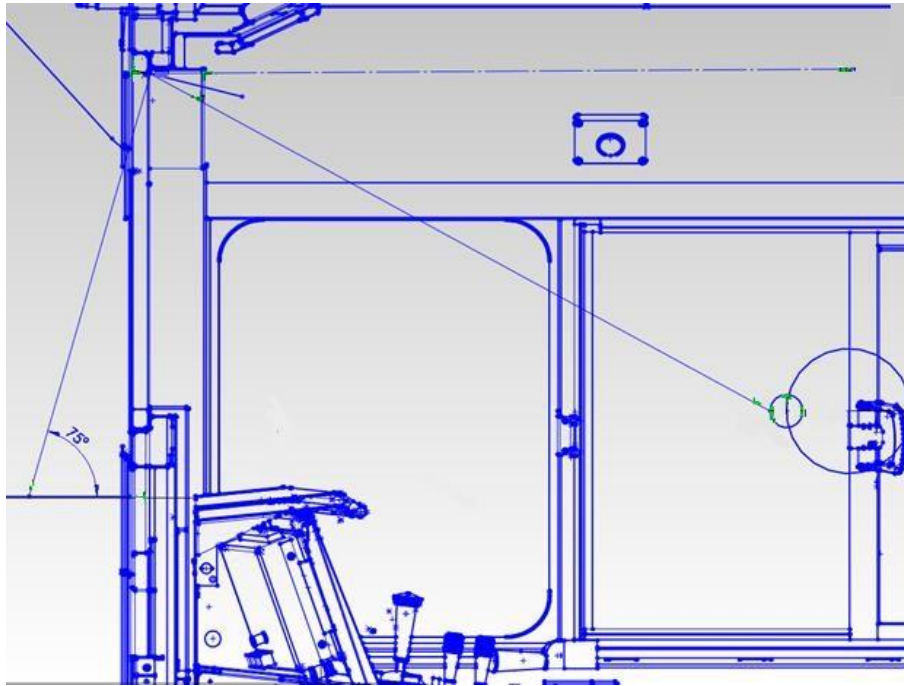


Рисунок 2.11 - Введення позитивного нахилу в 15 градусів

Для того щоб виключити потрапляння світильника в межі видимості машиніста необхідно вивести із зони видимості машиніста джерела світла і джерела відбитого світла, що визначаються частинами корпусу світильника, на які потрапляє його світло.

Для вирішення даної технічної задачі пропонується корпус світильника спеціальної форми (рисунок 2.12) [15].

Вихідне вікно світильника виконано з прозорого матеріалу для того, щоб не сформувати власне світлове тіло, непрозоре обрамлення навколо вихідного вікна додатково звужує світловий потік світлодіодних елементів, встановлених всередині світильника на підставу захисного корпусу.

Світильник кріпиться на стелю кабіни машиніста і випромінює направлений світловий потік безпосередньо на пульт управління локомотивом. Кут установки дзеркальних відбивачів розрахований таким чином, що при погляді машиніста стандартного зросту на лобове скло кабіни управління з робочого положення відображення від світлового потоку світильника або елементів корпусу світильника в вікні не з'явиться.

Особливість конструкції світильника полягає в тому, що корпус світильника приховує джерело світла і обмежує кут поширення світла від джерела, крім того введені дзеркальні накладки навколо світиться поверхні світильника.

Геометричний розрахунок кабіни зі світильником показав, що (рисунок 2.13) відбиття світла, від скла потрапляючи на дзеркальну поверхню, відбивається не в

активну поверхню світильника, а в підлогу. Таким чином, відображення світильника в вікні пропадає.



Рисунок 2.12 - Конструкція світильника

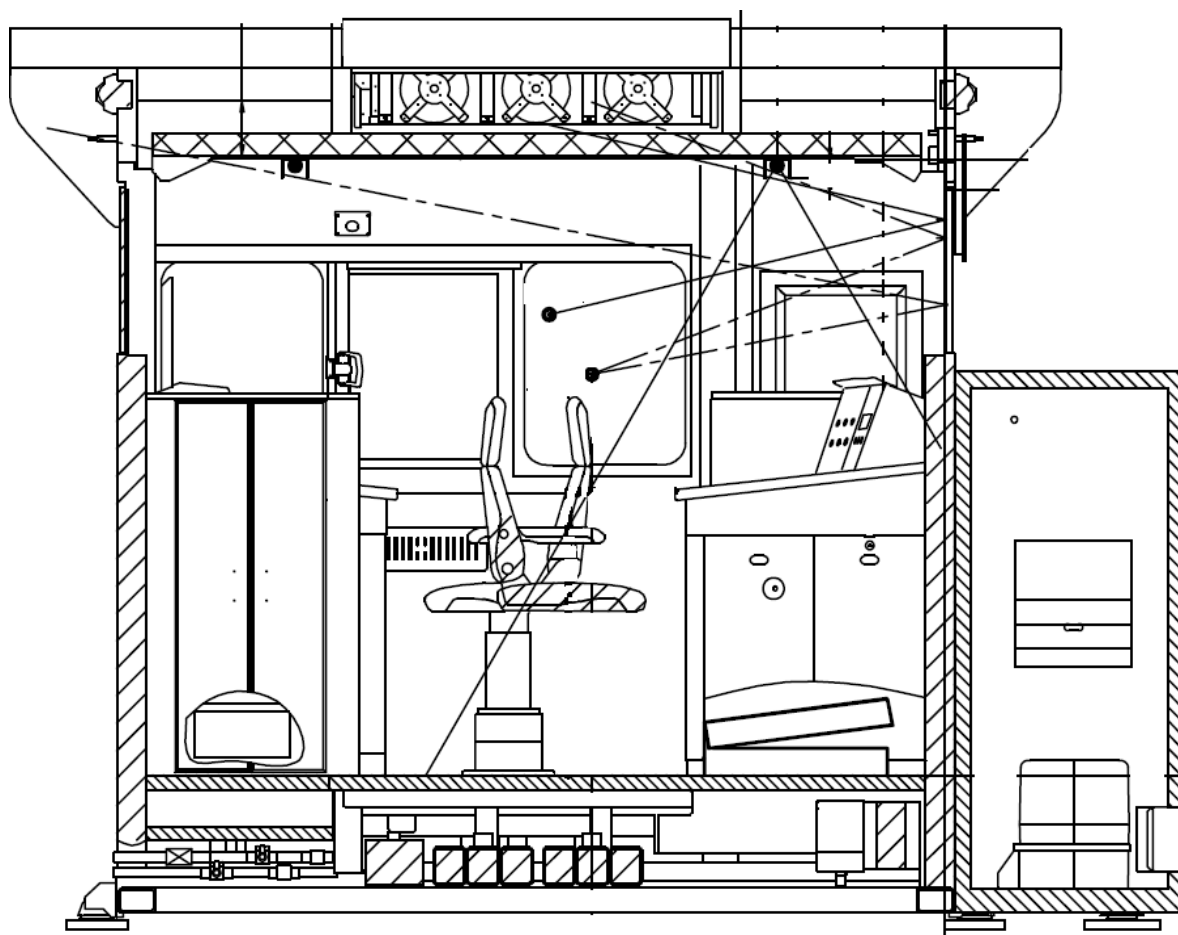


Рисунок 2.13 - Геометричне моделювання наявності відображень при розробленій конструкції світильника

2.3. Аналіз застосування зміни спектра випромінювання освітлення кабіни машиніста

Відомо, що людське око здатне сприймати випромінювання різними способами: візуально через колбочки і палички, незорових або біологічно через меланопсін містять клітини сітківки, сигнали від яких надходять в епіфіз - орган, який регулює вироблення мелатоніну. Чергування циклів світла і темряви викликають циклічну секрецію мелатоніну і кортизолу. Відомі дослідження, що показують, що порушення природних коливань вмісту мелатоніну в крові істотно впливають на біологічний стан людини. Спектр біологічної дії (спектр придушення мелатоніну) має максимум в районі 460нм, що поруч з максимумом синього випромінювання для більшості сучасних світлодіодів. Сучасні дослідження показують, що придушення мелатоніну збільшується в міру зростання корелятивною колірної температури випромінювача,

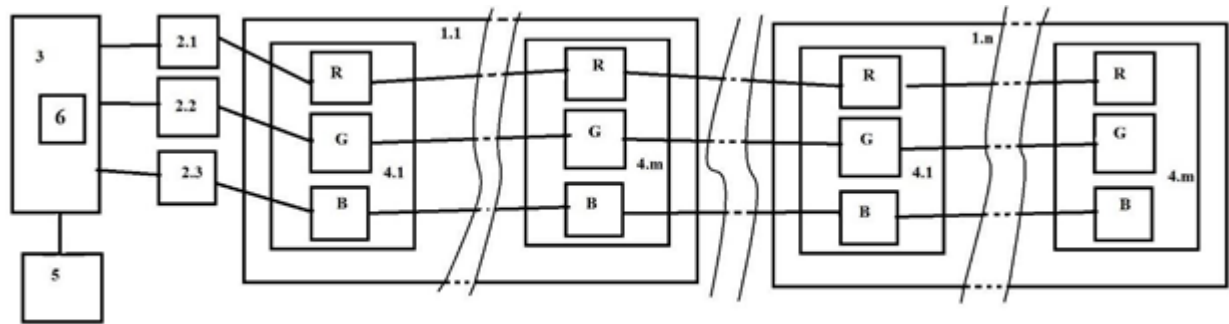
З іншого боку, доведено, що збільшення частки синього світла в освітленні підвищує пильність за рахунок придушення мелатоніну. Використання стандартних світильників на основі ламп розжарювання або світлодіодів зазвичай має певної не змінюється колірну температуру. Можливе застосування в системі загального освітлення RGB-діодів, або світлодіодів з різною корелятивною колірною температурою. Вводиться система управління часткою струму через різні групи кристалів для зміни корелятивною колірної температури всього світильника.

Для вирішення поставленого завдання пропонується світлодіодний світильник, призначений для забезпечення загального освітлення приміщень білим світлом зі змінною колірною температурою, структурна схема якого показана на рисунку 2.14.

Мінлива колірна температура в виробі реалізується за рахунок зміни частки спектрів червоного, синього і зеленого в загальному спектрі світильника. Для установки значення струму через кристали RGB-світлодіодів використовується блок управління джерелами живлення. Завдяки внутрішній структурі і запрограмованому алгоритму він змінює необхідні значення струму для всіх трьох кристалів, таким чином, щоб при змішуванні кольорів отримати біле світло потрібної колірної температури.

Годинник реального часу дозволяють з достатньою точністю контролювати поточний астрономічний час і передавати його значення в блок управління джерелами живлення.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



1.1 - 1.n - збірки RGB-світлодіодів; 2.1 - 2.3 - джерело живлення; 3 - блок управління джерелами живлення; 4.1 - 4.m - RGB-світлодіод; 5 - інтерфейс завдання і відображення; 6 - годинник реального часу.

Рисунок 2.14 - Структурна схема пристрою

Таким чином, реалізується принципова можливість створення світильника на основі світлодіодів з функцією забезпечення змінної корелятивною колірної температури. При цьому можливі різні алгоритми поведінки світильника. Можливе збільшення частки синього світла в спектрі лише у вечірні та ранкові години, коли виділення мелатоніну мінімально, і побічних ефектів штучне підвищення пильності не принесе, або можливо крім цього короткочасне підвищення частки синього в нічні години на складних ділянках шляху, коли від локомотивної бригади потрібна максимальна пильність. Таким чином, застосування світильників зі змінною корелятивною колірною температурою дозволить підвищити безпеку руху на залізницях.

2.4 Висновки до розділу

1. Кут установки робочих поверхонь пульта в межах, що регламентуються нормами практично не впливає на рівномірність освітлення цих поверхонь.

2. Деякі елементи пульта можуть відкидати тінь на робочі поверхні. При розробці проекту загального освітлення кабіни машиніста слід враховувати ці особливості конструкції.

3. Специфіка освітлювального приладу для кабіни машиніста на основі світлодіодів вимагає інших математичних підходів до розрахунку освітлення в порівнянні з освітлювальним приладом на основі лампи розжарювання.

4. Специфіка освітлюваної зони дозволяє встановлювати в якості світильника загального освітлення прилади різної геометрії, і розмірів, при цьому якщо випромінює поверхню приладу виконана у вигляді рівнояскравої поверхні, то нерівномірність освітлення буде відповідати нормі.

5. При розробці світильників для кабіни машиніста необхідно враховувати їх габаритну яскравість.

6. При виборі габаритів при розробці світильника загального освітлення необхідно враховувати взаємне розташування пультів управління, а також те, що занадто маленькі за розміром світильники будуть мати велику габаритну яскравість, а надто великі будуть впливати на висвітлення іншого пульта управління і, можливо, збільшувати її нерівномірність.

7. Показання нерівномірності краще у світильників, виконаних з довгою стороною уздовж робочої поверхні.

8. Для вирішення питань загального освітлення кабіни машиніста вкрай важливий кут нахилу зовнішнього скла кабіни.

9. При неможливості забезпечення відображень від світильника в лобовому склі кабіни машиніста необхідно крім обмеження кута поширення світла ввести дзеркальні вставки, що дозволяють відхилити відбитий від скла промінь в сторону статі.

10. Кардинальним вирішенням виключення відображення світильників в лобовому склі є введення нахилу цього скла на кут 15 градусів. Однак, дане рішення може спричинити за собою певні труднощі в перекомпонуванню кабіни локомотива, а також пристроїв і систем, що входять в неї.

11. Застосування світильників на основі світлодіодів дозволяє значно знизити капітальні витрати на виробництво кабін машиніста за рахунок виготовлення кабін більш простої геометричної форми.

12. Для додаткового збільшення безпеки руху принципово можливо створити світильник із змінною в часі колірною температурою.

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДІВ ДЛЯ ПРОЖЕКТОРА ЛОКОМОТИВА

3.1. Загальні питання розробки прожектора на основі світлодіодів

Для локомотивів, що розробляються, слід дотримуватися норм безпеки по значенню осьової сили світла прожекторів, які наведені в таблиці 3.1 [9].

Таблиця 3.1 - Нормовані значення осьової сили прожектора

Режим роботи локомотива	Осьова сила світла, I_0 , кКд
"яскраве світло"	640-960
"тьмяне світло"	70-120

Крім наведених норм для локомотивного прожектора характерна глибока діаграма спрямованості з кутом $\varphi = 3^\circ$. У прожекторах раніше випущених локомотивів застосовуються лампи розжарювання потужністю $P_{\text{лн}} = 500$ Вт з дзеркальним відбивачем, у яких світловий потік приблизно дорівнює $\Phi = 8000$ Лм [16].

Так як основним параметром вузькоградусної оптичної системи є відношення осьової сили світла до загального світлового потоку випромінювача, який характеризує абсолютну висоту піку на кривій сили світла:

$$E_{\text{ff}} = \frac{I_0}{\Phi}, \quad (3.1)$$

де I_0 - осьова сила світла, Кд; Φ - світловий потік приладу, Лм.

Ламповий прожектор має характеристику $E_{\text{ff}} = 80-120$ Кд/Лм.

В даний час промисловістю випускаються світлодіоди зі світловим потоком $\Phi = 8000$ Лм. Однак, зазвичай світлодіоди мають максимальне значення світлового потоку: $\Phi_{\text{макс}} = 1000$ Лм. Слід зазначити, що в світлодіодах з великим світловим потоком має місце велика площа з якої відбувається випромінювання світлодіода (світлове тіло - СТ). У цьому випадку вирішення питання ефективної фокусування світлового потоку є трудомісткою і економічно неефективною завданням.

Причина цього полягає в тому, що при порівнянних розмірах СТ і вторинної оптики на одну і ту ж точку оптики світлові промені від різних точок СТ, яке вже не можна вважати точковим, падають під різними кутами, що в кінцевому підсумку

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призводить до досить великій ширині пучка відбитого світла, що збільшує кутовий розмір елементарних відображень СТ.

На рисунку 3.1 приведена ілюстрація поширення світлового потоку для двох розмірів світлового тіла. Якщо розміри СТ нехтуючи малі, що відповідає точці СТ1, то кутовий розмір елементарного відображення буде: $\alpha \approx 0$ і визначається довжиною хвилі випромінювача. При кінцевих розмірах СТ, що представлено позначенням СТ2, кутовий розмір буде дорівнює α . Таким чином, збільшення розмірів СТ зумовлює зменшення осьової сили світла випромінювача.

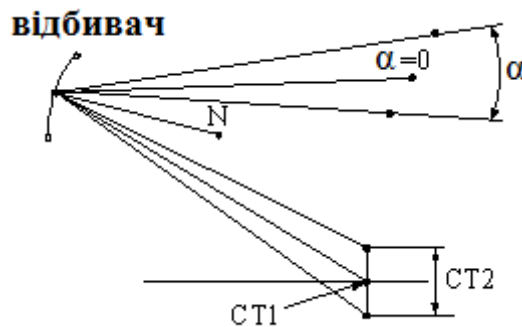


Рисунок 3.1 - Зміна ширини світлового потоку при різному розмірі світлового тіла

Для зменшення впливу даного ефекту необхідно збільшувати габаритні розміри оптичної системи, поверхня якої вимагає особливих високоточних методів обробки. Виходячи з цього, в якості світлодіода необхідно використовувати кристал синього випромінювання з люмінофором, нанесеним на кристалі, а не RGB типу або УФ-світлодіод з люмінофором. Застосування УФ світлодіода виключається через можливу появу великої частки УФ випромінювання в спектрі прожектора.

Таким чином, особливість світлодіодного прожектора з глибокою діаграмою спрямованості полягає в тому, що світловий потік повинен випромінюватися декількома світлодіодами з відносно малими розмірами СТ, кожен з яких повинен мати свою вторинну оптику [16].

Викладене свідчить про те, що в світлодіодних прожекторах повинна використовуватися розподілена оптика з N кількістю одиничних світлодіодів на відміну від лампових прожекторів з одним джерелом випромінювання.

В даний час існує два способи формування необхідної діаграми спрямованості світлодіода: використання відбивача або використання лінзи з ефектом повного внутрішнього відображення.

Вибір відбивача для лампи розжарювання в прожекторах викликаний в першу чергу відносно простим способом обслуговування, так як машиністу при

необхідності заміни ламп, що часто відмовляють, потрібно чистити забруднену поверхню, що відбиває. У разі світлодіодної техніки ситуація інша, використання відбивача в якості світлотехнічної апаратури залишає світлодіод незахищеним від зовнішнього середовища. Іншими словами, грязьові відкладення легко покривають світлодіод, чистка якого поза місцем стоянки та ремонту практично неможлива. При цьому можна легко пошкодити світлодіод, і в багатьох ситуаціях в експлуатації чистку подібної системи виконати практично неможливо без демонтажу прожектора.

Використання в світлодіодних прожекторах лінзи і холдера (тримача), який щільно огортає лінзу з боку граней, що відображають, зменшує забруднення поверхні лінзи і первинної оптики світлодіода.

Особливість випромінювання світлодіода полягає в тому, що не все світло, згенероване переходом, виводиться з кристала. Одну з основних причин втрат становить втрата на повне внутрішнє віддзеркалення в зв'язку з великим розходженням показників переломлення напівпровідника n_{Π} і повітря $n_{\text{в}}$.

Кут повного внутрішнього відображення випромінювання від границі повітря-кристал визначається:

$$\sin(\alpha) = \frac{n_{\text{в}}}{n_{\Pi}} \quad (3.2)$$

Для світлодіодних кристалів на основі InGaN-гетероструктур (використовуваних для отримання кристала випромінював в синьому спектрі) критичний кут становить $\alpha \approx 23^\circ$.

Існує кілька шляхів підвищення світлового виходу з напівпровідника. Ефективним способом є приміщення кристала в середу з показником переломлення $n_{\text{в}} < n < n_{\Pi}$ для збільшення критичного кута. Якщо в якості середовища використовувати прозорий епоксидний компаунд, то критичний кут α зростає. Якщо прилад призначений для виведення випромінювання в повітря, то для збереження коефіцієнта виведення випромінювання конфігурація полімерного покриття повинна бути такою, щоб світло падало на поверхню розділу компаунд-повітря під кутом, меншим критичного для цієї границі. Таким чином, діаграма спрямованості світлодіода визначається конфігурацією цього компаунда.

Зазвичай для розробки і початкового дослідження вторинної оптики використовують програмні пакети. Для моделювання світлодіод можна представляти спрощено у вигляді плоскої рівнояскравої пластини, або, що більш

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коректно, скористатися моделями, пропонованими виробником. Наприклад, для програмного пакета TracePRO використовуються файли формату *.dat, *.ray. Конструкцію вторинної лінзи можна розрахувати і побудувати в пакеті твердотілого моделювання, наприклад, в SolidWorks, після чого імпортувати її в пакет TracePRO.

3.2. Аналіз геометрії вузькоградусної оптики для світлодіода з урахуванням втрат світла

Існують різні методи [16] розрахунку вторинної оптики світлодіодів. Однак ці методи не розглядають вплив геометрії лінзи на оптичні втрати, які мають істотний вплив на систему при великій потужності випромінювачів. Очевидно, що це призводить до підвищення потужності всього пристрою, а також до додаткового нагрівання світлодіода, що негативно позначається на його ресурсі. Крім того, специфіка використання приладу на залізничному транспорті вимагає від вторинної оптики високих показників міцності, простоти в обслуговуванні та захисту світлового випромінювача від зовнішнього середовища. Приклади неоптимальною для рухомого складу вторинної оптики приведені на рисунках 3.2 і 3.3.

Розглянемо особливості взаємодії вторинної оптики зі світлодіодом і принципів конструювання основних елементів лінзи [17]. Для отримання вузької діаграми спрямованості зовнішня грань повинна бути розрахована таким чином, щоб промені світла відбивалися повністю, тобто мав місце ефект повного внутрішнього відображення. Внутрішня поверхня лінзи, яка одночасно є отвором для установки світлодіода, відхиляє бічні промені світлодіода на кут повного внутрішнього відображення для більш ефективного використання світлового потоку в лінзі. Форма отвору для розміщення світлодіода повинна вибиратися виходячи з умов збільшення світлової ефективності лінзи, а також технологічності виготовлення лінзи. При виборі форми і розміру внутрішньої поверхні лінзи необхідно враховувати, що розміщення поверхні лінзи на невеликій відстані від первинної оптики потрібно для забезпечення коректного теплового режиму світлодіода, а також для зменшення ймовірності пошкодження світлодіода при складанні. Крім того, ефективно використовувати частину внутрішньої поверхні лінзи для фокусування світла (наприклад, сферичної лінзою).

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 - Приклад неоптимальною для РС конструкції лінзи.



Рисунок 3.3 - Приклад неоптимальною конструкції лінзи з механічними пошкодженнями.

Через певну відстань після сферичної лінзи можна вибрати частину матеріалу лінзи, що дозволяє отримати економію на матеріалі і вартості виробу і зменшити втрати світла, світловий пучок якого вже сфокусований. Відстань, через яке можна вибрати частину матеріалу визначається технологією виробництва.

На рисунку 3.4 приведена лінза, що має такі межі: сферичної лінзи для фокусування центральних променів СТ і параболоїдного відбивача для фокусування бічних променів СТ. Застосування в якості внутрішньої грані півсфери дозволяє зменшити втрати на відображенні світла при введенні його в

лінзу.

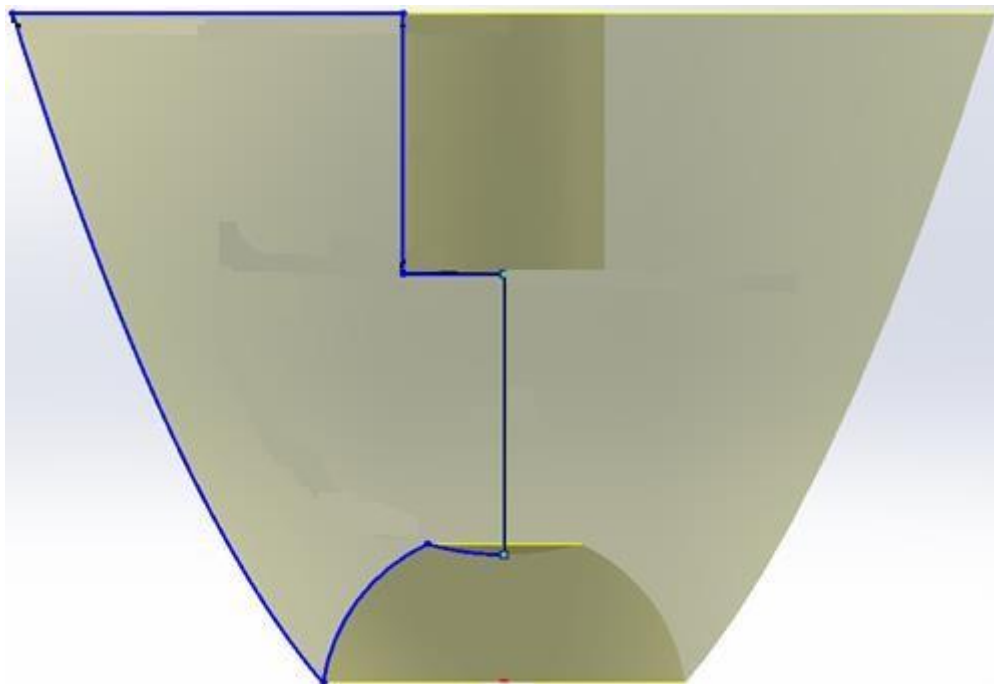


Рисунок 3.4 - Лінза 1

На рисунку 3.5 приведена лінза, що відрізняється від рисунка 3.2 тим, що в якості збиральної лінзи для центральних променів СТ використана не сферична лінза, а лінза Френеля.

На рисунку 3.6 приведена лінза, що має такі межі: сферична лінза для фокусування центральних променів СТ і система еліпсоїдного відбивача з лінзою для фокусування бічних променів СТ.

Пропонується порівняти представлені лінзи на кількість втрат світла і світлову ефективність при однаковій площі світлового виходу. Причому будуть порівнюватися окремо елементи, що відповідають за фокусування центральних променів СТ і бічних променів СТ. В якості СТ будемо розглядати рівнояскравий випромінювач з люмінофором, нанесеним на чіп.

Визначимо переваги застосування півсфери в якості внутрішньої межі для лінзи.

При потраплянні світла на кордон двох середовищ частина світлової енергії не проходить через границю, а відбивається від поверхні розділу. Таким чином мають місце втрати світла. Залежність втрат світла від кута падіння описується виразом (3.2) і приведена у вигляді графіка на рисунку 3.7 [18].

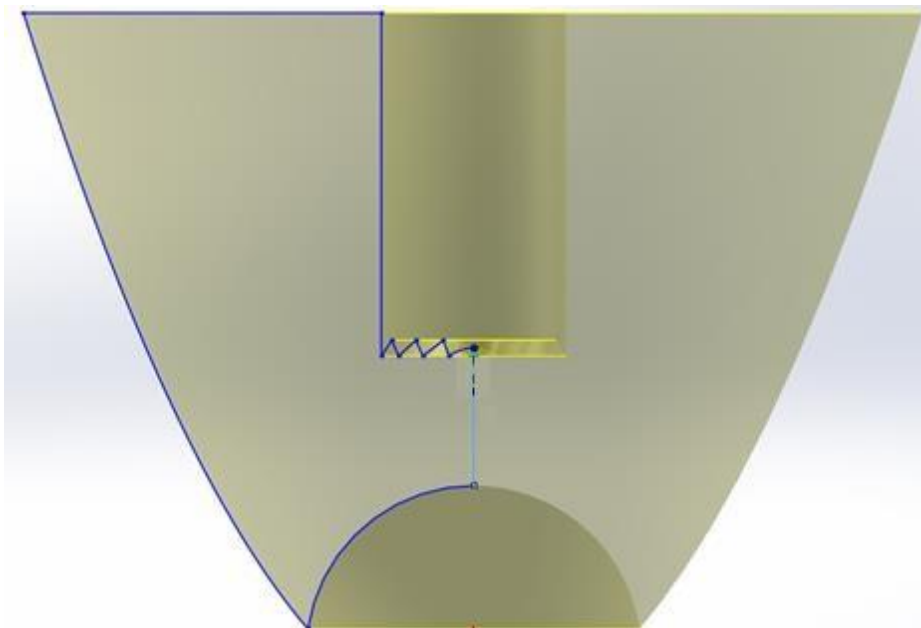


Рисунок 3.5 - Лінза 2

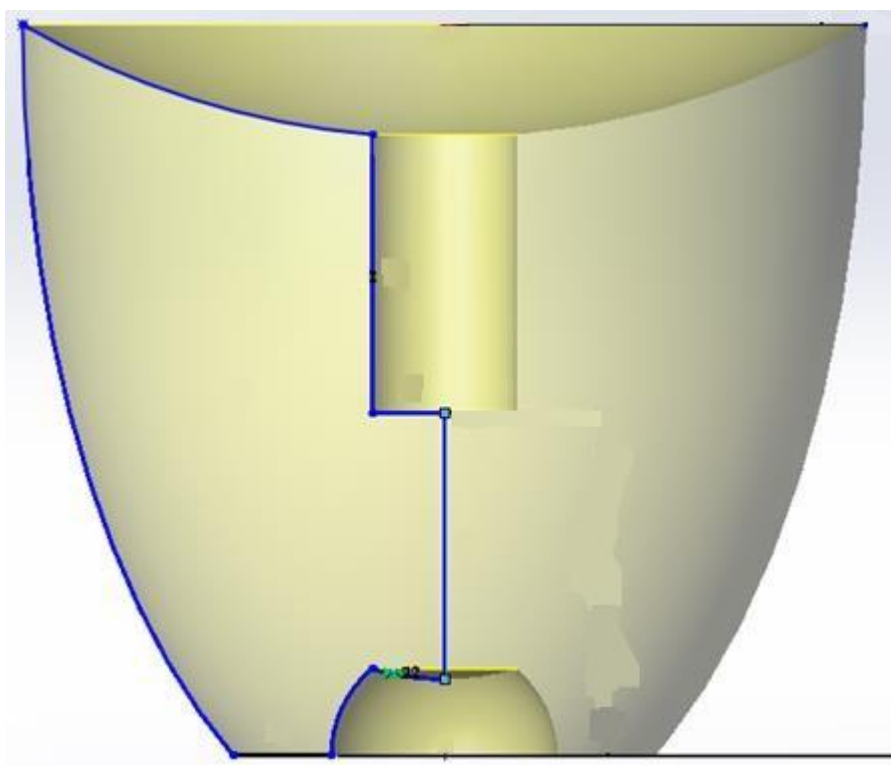


Рисунок 3.6 - Лінза 3

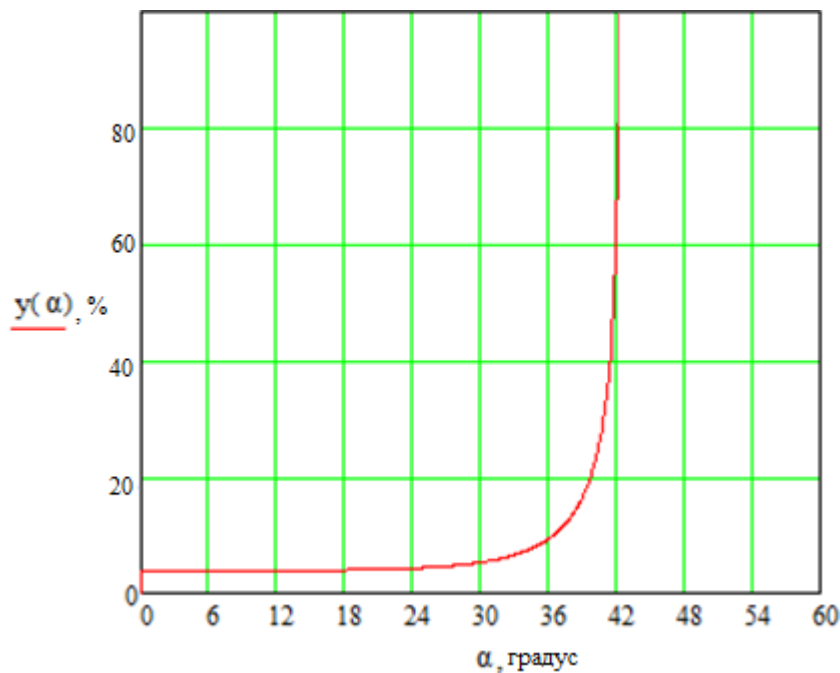


Рисунок 3.7 - Залежність втрат світла від кута падіння світлового променя на поверхню поділу двох середовищ

$$y(\alpha) = 0.5 \left(\frac{[\sin(\alpha - \arcsin\{n \cdot \sin(\alpha)\})]^2}{[\sin(\alpha + \arcsin\{n \cdot \sin(\alpha)\})]^2} + \frac{[\tan(\alpha - \arcsin\{n \cdot \sin(\alpha)\})]^2}{[\tan(\alpha + \arcsin\{n \cdot \sin(\alpha)\})]^2} \right), \quad (3.3)$$

де α - кут падіння світлового променя на поверхню поділу двох середовищ, градус;
 n - коефіцієнт переломлення скла.

При збігу центру внутрішньої сфери з центром СТ світло буде падати на поверхню нормально. Таким чином, втрати на відбиття світла при введенні випромінювання в лінзу будуть мінімальні і рівні

$$y = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2, \quad (3.4)$$

де n_1 - коефіцієнт переломлення скла, n_2 - коефіцієнт переломлення повітря.

Аналіз графіка на рисунку 3.5 показує, що до кута падіння в $\alpha = 18$ градусів втрати на відбиття практично дорівнюють втратам при нормальному падінні. Ефект повного внутрішнього відображення (втрати на відбиття максимальні) спостерігається після кута падіння в $\alpha = 42$ градуси.

Крім кута падіння на величину втрат на відбиття впливає різниця показника переломлення середовища і оптичного матеріалу. Зазвичай лінзи виготовляються з

ПММА ($n = 1,49$) або полікарбонату ($n = 1.56$). Ці матеріали можуть використовуватися в широкому діапазоні температур і підходять до застосування на відкритому повітрі. Відмінність полягає в тому, що ПММА більш твердий матеріал, а значить більш стійкий до абразивних впливів, але на відміну від полікарбонату горючий і підтримує горіння (кисневий індекс 17,3), кисневий індекс полікарбонату дорівнює 25, через що полікарбонат не підтримує горіння при відсутності зовнішнього полум'я.

Крім того, при виборі матеріалу лінзи слід знати коефіцієнт поглинання матеріалу для зменшення втрат при проходженні світла в товщі матеріалу відповідно до закону Бугера. Коефіцієнт поглинання ПММА дорівнює $0,03 \text{ см}^{-1}$, а для полікарбонату він може бути більш $0,037 \text{ см}^{-1}$ [18]. Таким чином рекомендується використовувати ПММА для виготовлення лінз.

Розглянемо втрати на відбиття для сферичної збиральної лінзи (застосованої на рисунку 3.4 і 3.6). СТ знаходиться у фокусі лінзи. Розрахунок взаємозалежних кутів ведеться в ортогональній системі координат з побудовою світлових променів і граней лінзи.

$$m(\varphi) = \arctan\left(\frac{\sin(\varphi)}{n - \cos(\varphi)}\right) \quad (3.5)$$

Тоді кут падіння в залежності від кута випромінювання дорівнює.

$$\alpha(\varphi) = m(\varphi) - \varphi, \quad (3.6)$$

де φ - кут випромінювання СТ щодо нормалі до його поверхні, градус; n - коефіцієнт переломлення скла.

Залежність втрати сили світла на відбиття від кута випромінювання СТ представлені на рисунку 3.8

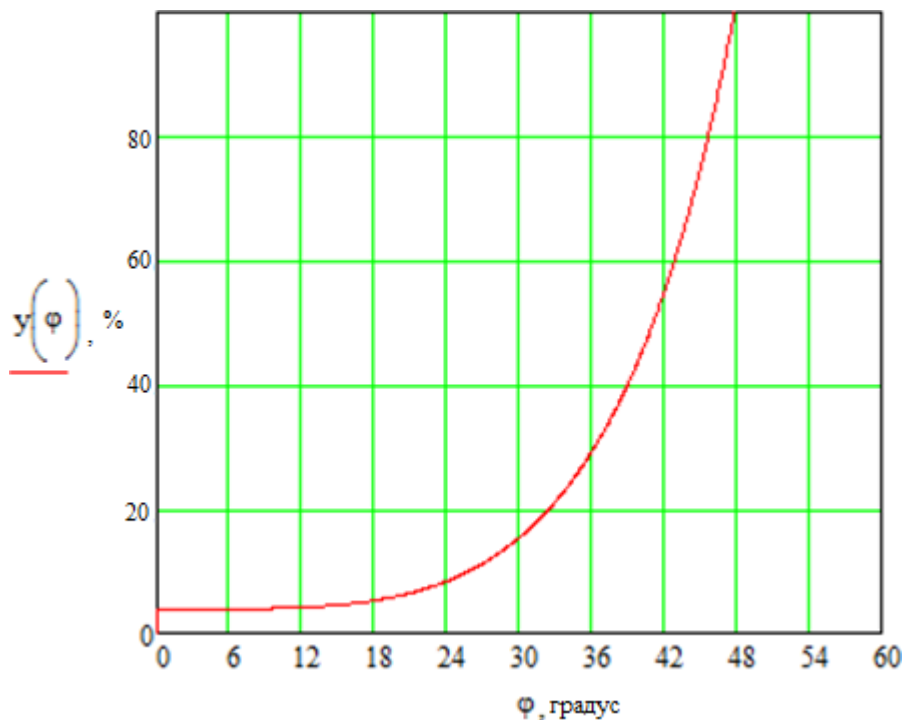


Рисунок 3.8 - Залежність втрати сили світла на відображення в залежності від кута випромінювання світла СТ, сферична лінза

Проаналізувавши рисунок 3.8, можна вважати, що втрати на відображення в куті випромінювання до 10 градусів від нормалі приблизно дорівнюють втратам на нормальне падіння. Крім того, зазвичай не сферичні лінзи не використовуються при куті випромінювання від нормалі більше 15 через велику сферичної аберації системи.

Розглянемо втрати на відбиття для ступінчастої (лінза Френеля) збираючої лінзи (рисунок 3.3). СТ знаходиться у фокусі лінзи.

Знайдемо залежність кута переломленого променя до нормалі від кута випромінювання у вигляді:

$$m(\varphi) = \arctan\left(\frac{n \cdot \sin(\varphi)}{n \cdot \cos(\varphi) - 1}\right) \quad (3.7)$$

Кут падіння в залежності від кута випромінювання знаходиться з виразу (3.6).

Залежність втрат на відбиття від кута випромінювання СТ, отримана шляхом підстановки виразу (3.7) в (3.3), представлена на рисунку 3.9.

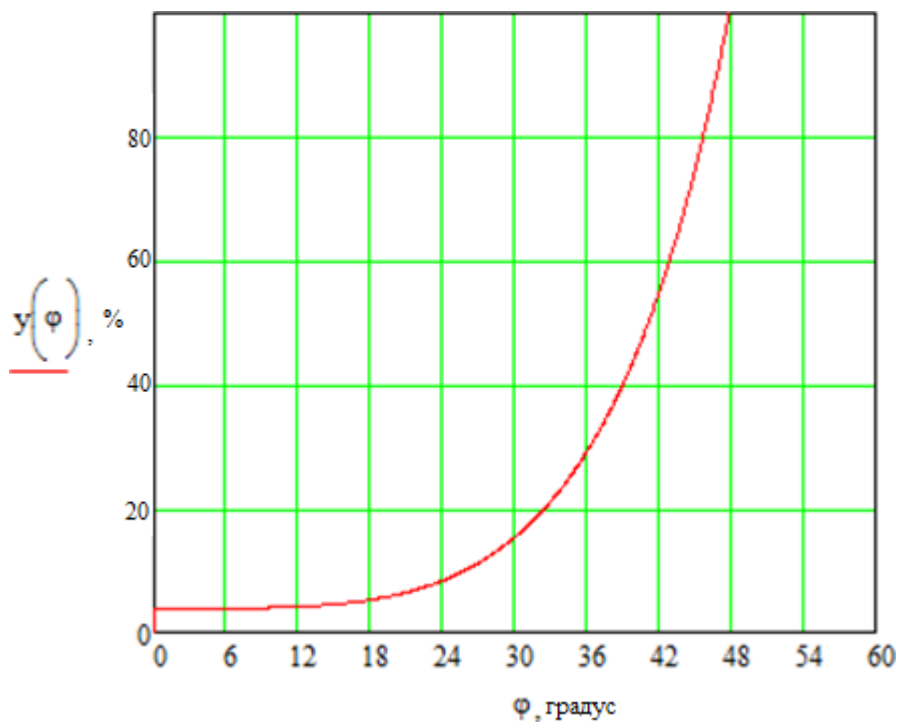


Рисунок 3.9 - Залежність втрат сили світла на відображення в залежності від кута випромінювання світла СТ, лінза Френеля

Аналіз графіків на рисунках 3.8 і 3.9 показує, що принципові відмінності у втратах на віддзеркалення в цих двох випадках відсутні. Тому необхідно спиратися на інші технічні і фізичні характеристики цих елементів.

Зокрема, для центральних кутів випромінювання від нормалі на кут до 7 градусів різниця між лінзами відсутня, тому що це простір у ступінчастої лінзи зазвичай фокусується сферичним елементом. Крім того, ступінчаста лінза при рівному діаметрі зі сферичною матиме меншу силу світла за рахунок неповного заповнення світлового отвору світлою частиною.

Тому, коли фокусується пучок центральних променів СТ в малих кутах, то необхідно використовувати сферичну лінзу через більше заповнення світлового отвору світлою частиною.

Втрати світлового потоку на сферичній лінзі можна розрахувати наступним чином.

$$LOSS(\varphi) = \frac{\Phi(\varphi)}{\Phi_0}, \quad (3.6)$$

де Φ_0 - вихідний світловий потік світлодіода, Лм; $\Phi(\varphi)$ - відбитий світловий потік світлодіода, Лм.

Розкриємо вираження (3.6) і після скорочення констант отримаємо:

$$LOSS(\varphi) = \frac{\int_0^{\varphi} y(\varphi) \cos(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi}{\int_0^{90} \cos(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi} \quad (3.7)$$

Результати розрахунку втрат світлового потоку наведені на рисунку 3.10.

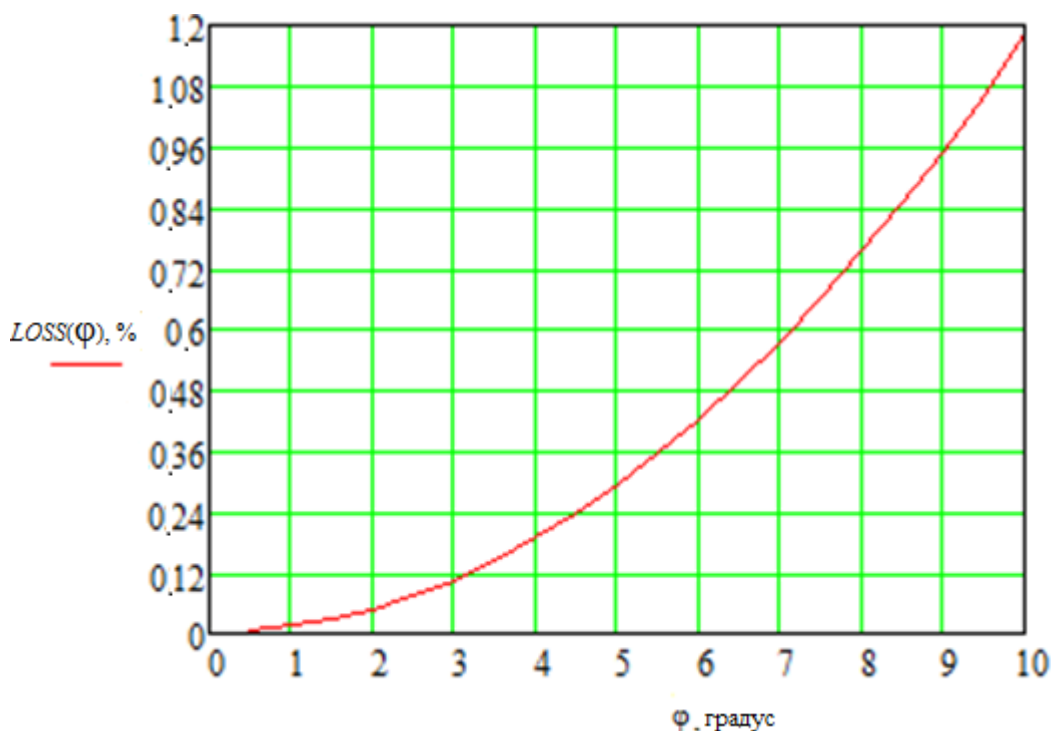


Рисунок 3.10 - Втрати світлового потоку в залежності від кута фокусованого пучка

Аналіз графіка на рисунку 3.10 показує, що втрати від загального світлового потоку на відображення від грані центрального збираючого елемента лінзи, аж до охоплення в 10 градусів, незначні на тлі загального світлового потоку світлодіода. Це говорить про те, що вибір максимального кута охоплення центрального збираючого елемента лінзи в 10 градусів з точки зору оптичних втрат виправданий.

Розрахунок розмірів і положення сферичної лінзи виконується наступним чином.

Рівняння сферичної лінзи можна записати у вигляді:

$$\frac{n_g}{f} = (n_c - n_g) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{(n_c - n_g)d}{r_1 r_2 n_c} \right), \quad (3.8)$$

де n_c - показник переломлення матеріалу лінзи; n_B - показник переломлення повітря; f - фокусна відстань лінзи, м; r_1 - радіус кривизни поверхні ближче до світлодіода, м; r_2 - радіус кривизни поверхні далі від світлодіода, м; d - товщина лінзи, м.

Виходячи з викладеного вище положення про вибірку частини матеріалу лінзи, доцільно виконати вибірку матеріалу лінзи в її обсязі у вигляді циліндра. Таким чином, можна вважати, що $r_2 = \infty$,

$$\frac{n_n}{f} = (n_c - n_n) \frac{1}{r_1} \quad (3.9)$$

Вираз (3.8) містить 2 параметри: r_1 і f , один з цих параметрів буде визначено в залежності від конструкції лінзи, другий буде розрахований.

Розглянемо втрати на відбиття для параболічної межі (рисунки 3.4 і 3.5). Ця грань повинна працювати за принципом повного внутрішнього відображення, таким чином, всі промені які на неї потрапляють повинні зазнавати повне внутрішнє відбиття.

Знайдемо залежність кута падаючого променя до нормалі дотичній параболі від кута випромінювання СТ. Для цього необхідно провести серію перетворень.

Коефіцієнт прямої в ортогональній системі координат для променя, випромінюваного СТ в залежності від кута випромінювання від нормалі до поверхні СТ дорівнює:

$$k(\varphi) = \frac{1}{\tan(\varphi)} \quad (3.10)$$

Координату точки дотику параболі і дотичній $x_0(\varphi)$ можна обчислити з виразу [18].

$$x_0(\varphi) = \frac{k(\varphi) + \sqrt{k(\varphi)^2 + 1}}{p^{-1}}, \quad (3.11)$$

де p - параметр параболі, м.

$$m(\varphi) = \frac{x_0(\varphi)k(\varphi) + p}{pk(\varphi) - x_0(\varphi)}, \quad (3.12)$$

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $m(\varphi)$ - тангенс кута між кутом випроміненого СТ променю і дотичній.

$$\gamma(\varphi) = \left| \arctan \{m(\varphi)\} \right|, \quad (3.13)$$

де $\gamma(\varphi)$ - кут між кутом випроміненого СТ променю і перпендикуляра до дотичній, градус.

Результати розрахунку наведені на рисунку 3.11. Як видно з графіка, все промені СТ зазнають повне внутрішнє відбиття.

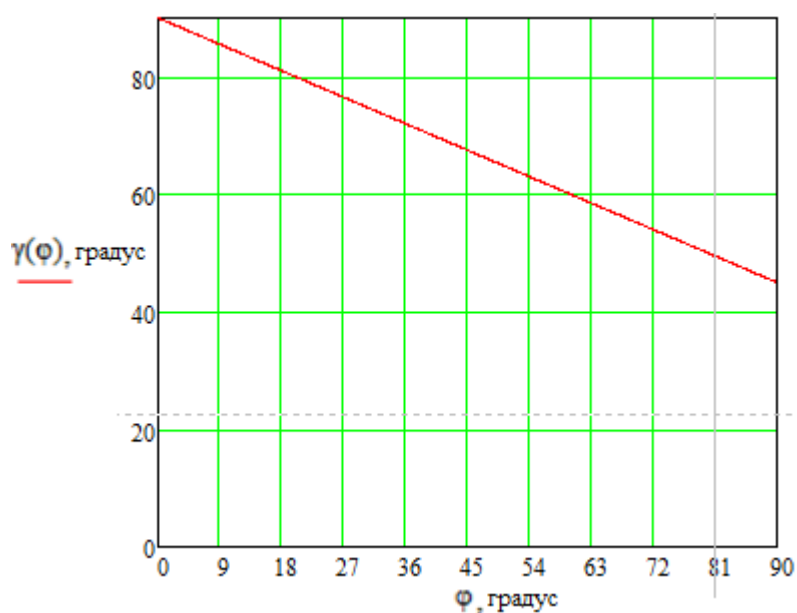


Рисунок 3.11 - Кут падіння променю СТ на грань параболи в залежності від кута випромінювання променю СТ при параметрі параболи $p = 0,5$

Розглянемо залежність осьової сили світла від параметра параболи.

Осьова сила світла, відповідно до закону Манжена, обчислюється таким чином.

$$I = hLS, \quad (3.14)$$

де L - яскравість СТ, Кд/м²; S - площа виходу світла, м²; h - світловий ККД оптики, де:

$$h = t h_1 h_2, \quad (3.15)$$

де t - коефіцієнт пропускання оптики; h_1 - коефіцієнт використання оптики; h_2 -

коефіцієнт використання світлового потоку.

$$h = tF \frac{F_w}{F_0 F_w}, \quad (3.16)$$

де F_w - повний світловий потік в межах кута охоплення, Лм; F_0 - повний світловий потік прожектора, Лм; F - корисно використовуваний світловий потік, Лм.

Об'єм лінзи розраховується відповідно до виразу.

$$V = 0.5([h + f]S - f S_0), \quad (3.17)$$

де S - площа виходу світла, м²; h - висота лінзи, м; S_0 - площа підстави лінзи, м²; f - фокусна відстань, м.

На рисунках 3.12 і 3.13 представлені графіки залежності сили світла параболоїдного відбивача і об'єм лінзи в залежності від параметра параболі при фіксованій висоті параболоїда. Аналіз графіків показує, що при збільшенні параметра параболі її об'єм і осьова сила світла збільшуються. З іншого боку, зменшення висоти лінзи зменшує вагогабаритні показники лінзи значно сильніше, ніж її осьову силу світла. Таким чином, вигідно варіювати висоту лінзи, стежачи за тим, щоб ці зміни не призвели до наявності неспроможеного центральним елементом лінзи пучка світла.

Ослаблення світла в матеріалі можна оцінити за законом Бугера:

$$I(\varphi) = I_0 e^{-k_\lambda l(\varphi)}, \quad (3.18)$$

де I_0 - інтенсивність вхідного пучка, Кд; $l(\varphi)$ - товщина шару речовини, яку проходить промінь світлового тіла в залежності від кута випромінювання променя, м; k_λ - показник поглинання речовини, м⁻¹.

Для кожної речовини показник k_λ різний, крім того, його величина залежить від довжини хвилі.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

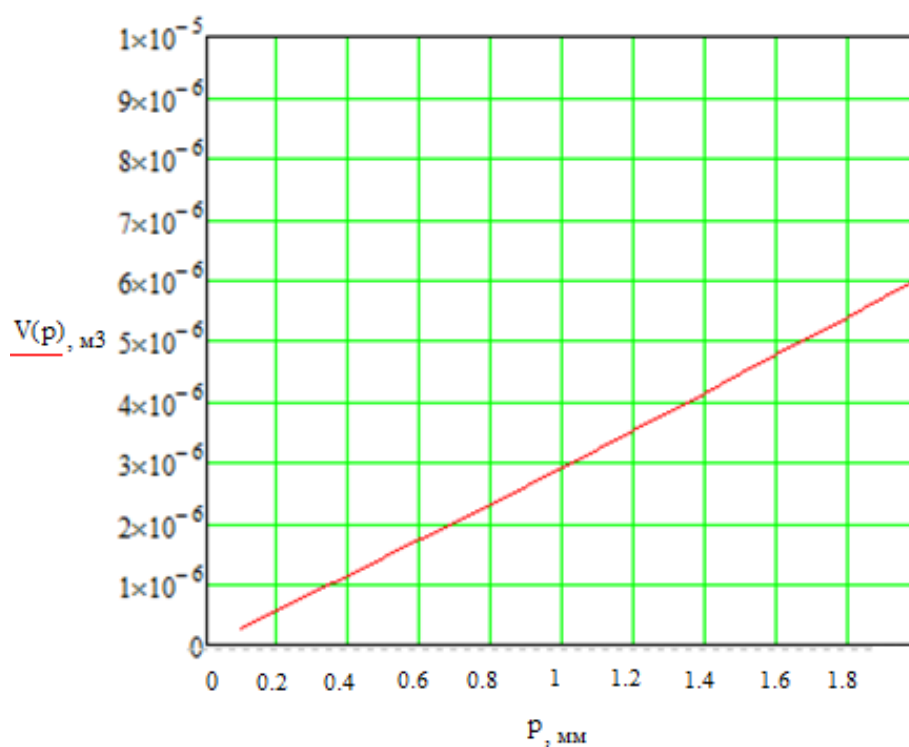
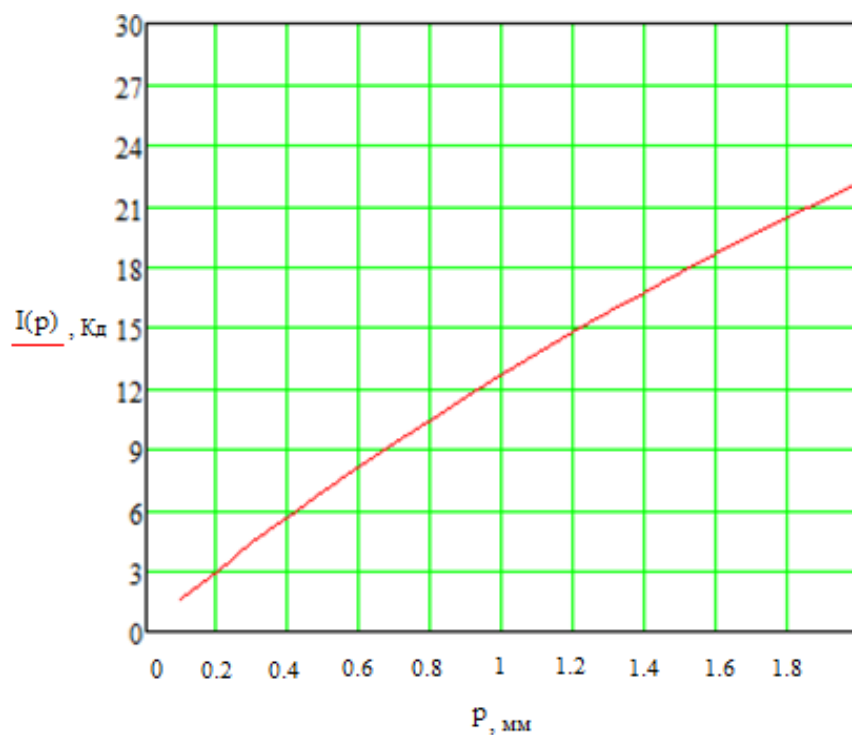


Рисунок 3.12 - Графіки залежності сили світла параболоїдного відбивача і об'єму лінзи в залежності від параметра парабoli при фіксованій висоті параболоїда 30 мм

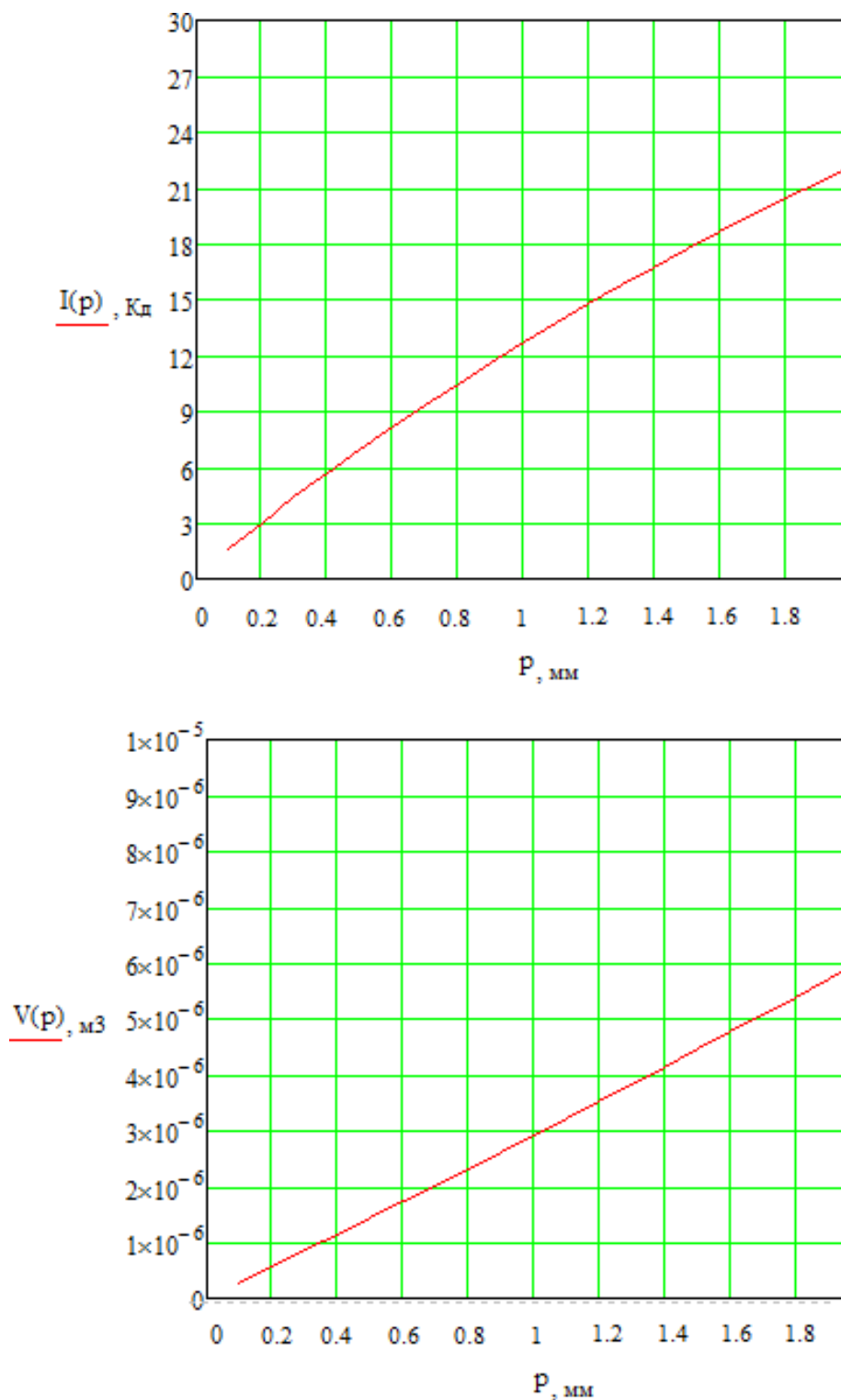


Рисунок 3.13 - Графіки залежності сили світла параболоїдного відбивача і об'єму лінзи в залежності від параметра параболі при фіксованій висоті параболоїда 10 мм

Втрати світлового потоку на проходження в середовищі параболоїдних частин лінзи можна розрахувати наступним чином.

$$LOSS(\varphi) = \frac{\Phi_0(\varphi) - \Phi(\varphi)}{\Phi_0}, \quad (3.19)$$

де $\Phi_0(\varphi)$ - вихідний світловий потік світлодіода, який потрапляє на параболічну частину лінзи, Лм; $\Phi(\varphi)$ - світловий потік світлодіода, що потрапив на параболічну частину лінзи і пройшов через товщу скла, Лм.

Розкриємо вираження (3.18), скоротивши константи.

$$LOSS(\varphi) = \frac{\int_{\varphi}^{90} \cos(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi - \int_{\varphi}^{90} e^{-k_{\lambda} l(\varphi)} \cos(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi}{\int_0^{90} \cos(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi} \quad (3.20)$$

$$l(\varphi) = H - y_0(\varphi) - r + \sqrt{y_0(\varphi)^2 + x_0(\varphi)^2}, \quad (3.21)$$

де r - радіус внутрішньої сфери, м; $y_0(\varphi)$, $x_0(\varphi)$ - координати точки відбиття світла, м; H - висота лінзи, м.

Розрахунок абсциси точки дотику $x_0(\varphi)$ проводиться по (3.8), тоді ордината цієї точки знаходиться з стандартного вираження параболі.

Результати розрахунку при параметрі параболі $p = 7$ наведено на рисунку 3.14.

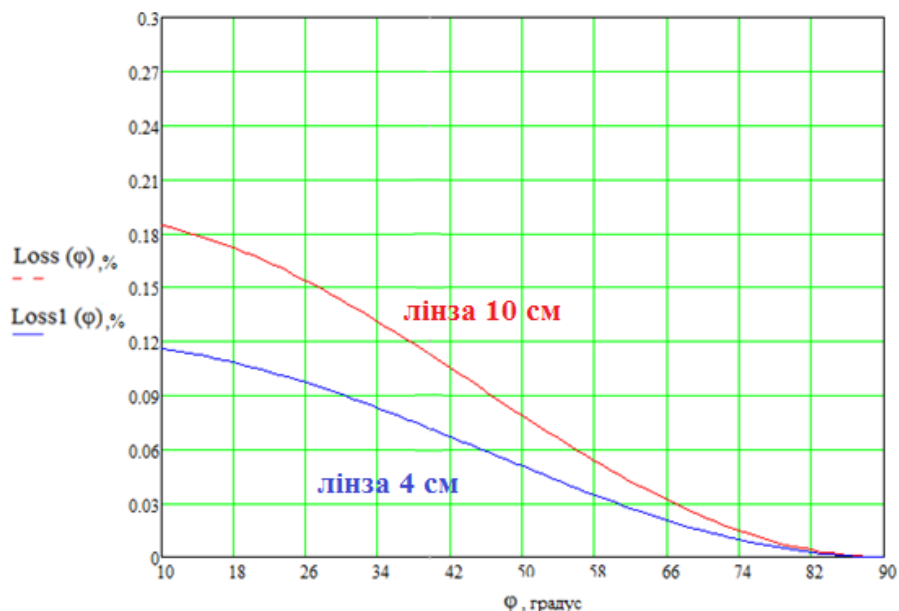


Рисунок 3.14 - Втрати в матеріалі лінзи при висоті в залежності від кута з якого світло потрапляє на відбивач

Аналіз графіка на рисунку 3.14 показує, що втрати світла на проходження через матеріал незначні і пропорційні висоті лінзи. При цьому вигідно охоплювати світловий потік з кута в $\varphi = 10$ градусів, тому що при збільшенні цього значення втрати на проходження в матеріалі принципово не змінюються, а ефективність центральної збирає лінзи різко падає.

Розглянемо втрати на відбиття для еліптичної межі (рисунок 3.6). Ця грань повинна працювати за принципом повного внутрішнього відображення. Таким чином, всі промені які на неї потрапляють повинні зазнавати повне внутрішнє відбиття. Будемо розглядати еліпс фіксованою висоти, але змінної ширини.

Знайдемо залежність падаючого променя до нормалі дотичній параболи від кута випромінювання СТ.

Коефіцієнт прямої променя, випущеного СТ в залежності від кута випромінювання від нормалі до поверхні СТ $k(\varphi)$ розраховується відповідно до виразу (3.9).

$$x_0(\varphi) = \frac{k(\varphi)\sqrt{b^2 - a^2} + \sqrt{[k(\varphi)\sqrt{b^2 - a^2}]^2 + a^2[k(\varphi)^2 + \frac{b^2}{a}]}}{k(\varphi)^2 + \frac{b^2}{a}}, \quad (3.22)$$

де $x_0(\varphi)$ - координата точки дотику еліпса і дотичній, м; a, b - параметри еліпса, м.

$$y_0(\varphi) = -\sqrt{b^2 - \left(\frac{bx_0(\varphi)}{a}\right)^2} + \sqrt{b^2 - a^2} \quad (3.23)$$

де $y_0(\varphi)$ - координата точки дотику еліпса і дотичній, м.

$$k_1(\varphi) = \frac{a^2 y_0}{b^2 x_0}, \quad (3.24)$$

де $k_1(\varphi)$ - тангенс кута нахилу прямої перпендикулярної до дотичній еліпса.

$$m(\varphi) = \frac{k(\varphi) - k_1(\varphi)}{k_1(\varphi)k(\varphi) + 1}, \quad (3.25)$$

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $m(\varphi)$ - тангенс кута між кутом випроміненого СТ променю і перпендикуляра до дотичній.

Величина кута $\gamma(\varphi)$ розраховується за виразом (3.13).

Результати розрахунку кута падіння світлового променю на грань лінзи наведені на графіках рисунка 3.15.

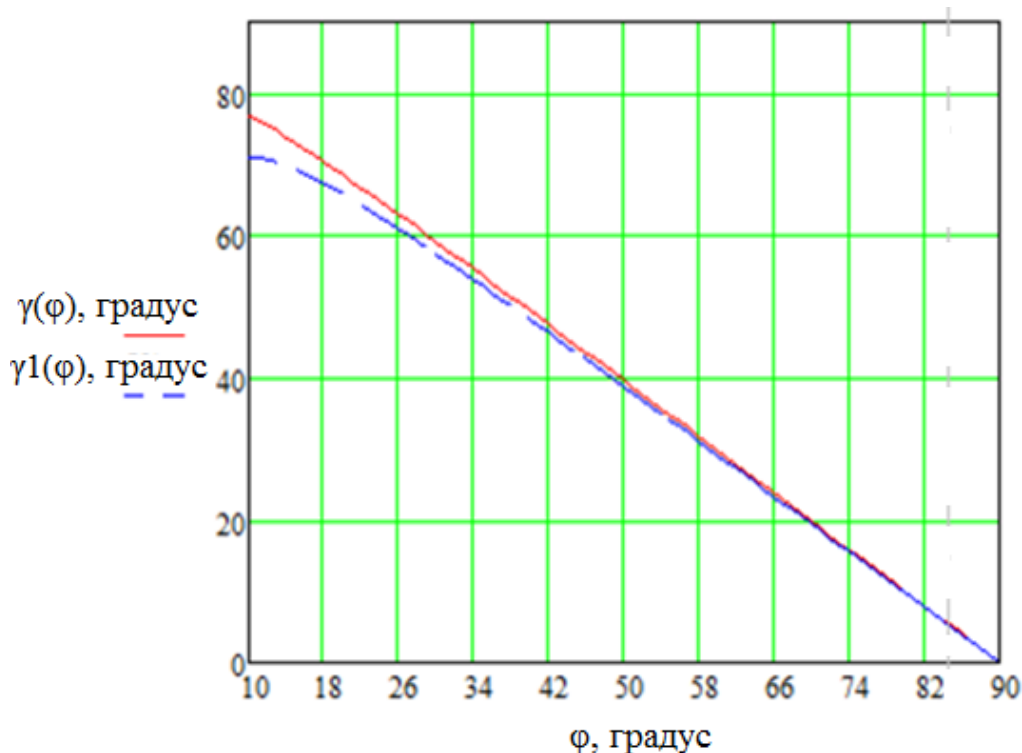


Рисунок 3.15 - Кут падіння променю СТ на грань еліпса в залежності від кута випромінювання променю СТ при параметрі $a = 5$ см (пунктир) і $a = 7$ см

Як видно з рисунка 3.15, частина випромінювання світлодіода не зазнає повного внутрішнього відображення на гранях еліпса, при цьому відношення габаритів оптичної системи до осьової силі світла менше, ніж у параболоїда. Це говорить про те, що використовувати еліпсоїдну поверхню в якості зовнішньої межі при розробці лінзи з ефектом повного внутрішнього відображення неефективне.

Розглянемо залежність осьової сили світла від параметра еліпса. У зв'язку з тим, що частина випромінювання світлодіода не зазнає повного внутрішнього відображення, уявімо, що лінза виконана у вигляді дзеркального еліпсоїдного відбивача з лінзою на виході.

Осьова сила світла, буде розраховуватись відповідно до виразу (3.14), втрати на відбиття від зовнішньої грані не враховуємо.

Об'єм відбивача розрахується наступним чином.

$$V = \frac{2}{3} \pi [b a^2 - (\frac{b^2}{a}) (b - \sqrt{b^2 - a^2})], \quad (3.26)$$

Результати розрахунку наведені на рисунках 3.16 і 3.17. На підставі аналізу графіків на рисунках 3.12, 3.13, 3.15, 3.16, можна зробити висновок про те, що лінза на основі еліптичної межі має гірші масо-габаритні характеристики при меншій силі світла в порівнянні з параболічною гранню.

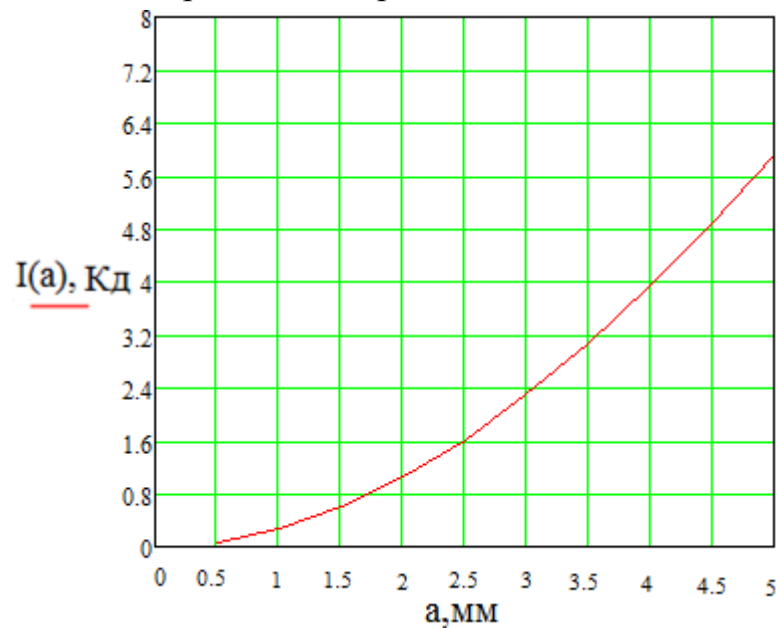


Рисунок 3.16 - Осьова сила світла системи еліпсоїдний відбивач - лінза в залежності від параметра еліпса а

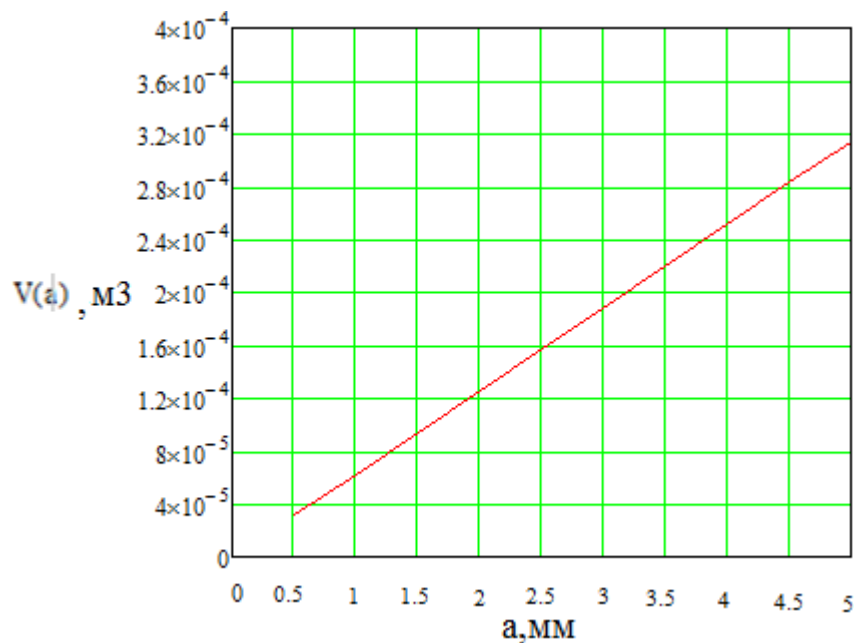


Рисунок 3.17 - Об'єм еліпсоїдного відбивача в залежності від параметра еліпса а

Додатково для зменшення втрат на відбиття на внутрішній поверхні лінзи можливе введення в область півсфери складу з показником переломлення близьким до матеріалу лінзи, проте це рішення значно ускладнить обслуговування приладу в експлуатації за рахунок того, що складання-розбирання подібної конструкції є важким. Крім того, при такому рішенні виникають додаткові труднощі, пов'язані з механічним взаємодією навколишнього світлодіод складу з первинної лінзою світлодіода.

3.3. Практичні пропозиції розробки оптичної системи прожектора

За результатами проведених розрахунків зробимо пропозиції по конструюванню світлодіодних прожекторів [18].

На рисунку 3.18 показані різні модифікації розробленого модульного світлодіодного прожектора. Модульний світлодіодний прожектор призначений для освітлення залізничної колії перед локомотивом в темний час доби, потужність споживання для даних пристроїв складає не більше 140 Вт, що нижча за потужність споживання прожектора на основі ЛР в 3,57 раз. Конструкція модульного світлодіодного прожектора складається з декількох незалежних світлодіодних ланцюжків з індивідуальними джерелами живлення.

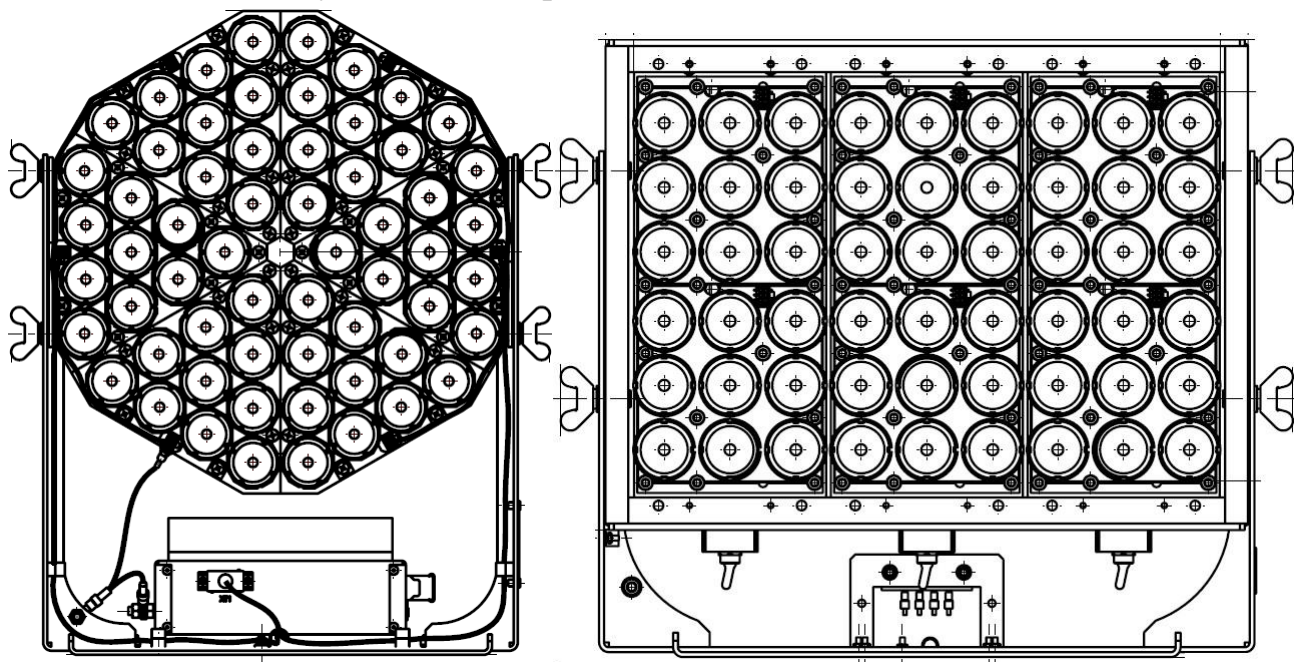


Рисунок 3.18 - Приклади конструкції модульних світлодіодних прожекторів

Світлодіоди, і фокусуєча збірка, являють собою оптичну систему модульного світлодіодного прожектора. При цьому фокусуєча збірка складається з тримача з полікарбонату і асферичною лінзи з прозорого оргскла або УФ-стабілізованого полікарбонату.

При цьому для ефективного відводу тепла від світлодіодів використовуються плати на основі алюмінію і алюмінієві радіатори.

Рівень світлового потоку від модульного світлодіодного прожектора регулюється дискретно в двох положеннях: «яскраво» (100%) і «тьмяно» (10%). Регулювання забезпечується подачею керуючої команди на роз'єм джерела живлення.

Так як світлодіод практично не має випромінювання в інфрачервоній області, то захисне скло прожекторної ніші може піддаватися обмерзанню і запітнінню при експлуатації. В цьому випадку необхідно застосовувати додаткові методи обігріву захисного скла в ніші прожектора.

На рисунку 3.19 представлений електровоз з встановленим на нього прожектором на основі світлодіодів.



Рисунок 3.19 - Вид прожектора локомотива зі світлодіодними випромінювачами

При розробці прожектора також необхідно враховувати втрати на захисне скло, які можуть бути досить значними, особливо якщо на склі є елементи обігріву; по-друге, слід враховувати тепловий режим виробу в ніші, тому що він може сильно нагріватися сонячними променями або навпаки бути теплоізованим від навколишнього середовища.

Підвищений ресурс світлодіодних прожекторів не виключає можливості одиночних відмов. Якщо в разі використання ламп розжарювання це призводить до

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

повної відмови прожекторного приладу, і в разі прожектора машиністу необхідно терміново замінювати лампу. Світлодіодний прожектор має сегментну структуру з «гарячим» резервуванням: відмови відбуваються посегментно і відмова одного-кількох сегментів не призводить до зниження осьової сили світла локомотива нижче норм безпеки, що дозволяє продовжити рух локомотива без зупинок.

Досвід експлуатації Придніпровської залізниці на прикладі електровозів ВЛ8, ВЛ10 і ДЕ1 (лобовий прожектор ламповий) показав, що за період 01.2018-04.2020 р.р. на 38 локомотивах було замінено 118 ламп КГМ 50-500 (500 Вт, середній час горіння 500 год., вартість 300 гривень, виходячи з цін в інтернеті на 05.2021). В даний час розроблені дослідні зразки прожекторів з потужністю споживання не більше 25 Вт, але вони не пройшли весь цикл випробування перед впровадженням в експлуатацію.

3.4 Висновки до розділу

1. При розробці лобового прожектора для локомотива на основі світлодіодів необхідно використовувати кристали синього спектра світіння мінімальних габаритів, покриті люмінофором для отримання білого світла.
2. Найбільш підходящим типом оптики для формування вузького пучка світла є рішення на основі лінзи.
3. При розробці вузькоградусної оптики необхідно використовувати лінзи складної форми на основі ПММА.
4. Для фокусування центральній частині випромінювання СТ при малих кутах найбільш придатною є сферична лінза.
5. Сферична лінза в малих кутах охоплення не робить значного впливу на збільшення втрат світлового потоку.
6. Для фокусування бічній частині випромінювання СТ найбільш підходящим є параболоїд.
7. При розробці прожектора необхідно враховувати умови в реальній експлуатації: тепловий режим в ніші, втрати на захисне скло і т.п.
8. Використання світлодіодів в якості СТ лобового прожектора підвищує безпеку руху рухомого складу, а також дає змогу зменшити експлуатаційні витрати на підтримку локомотивного парку в працездатності.

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ІНОВАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДНОЇ ТЕХНІКИ НА ЛОКОМОТИВАХ

4.1 Аналіз питань безпеки при руху локомотива в кривих

Для досягнення номінальної сили світла і кута розсіювання у вертикальній і горизонтальній площині за рівнем $I_{0,1} \alpha = 3^\circ$ регламентується метод фокусування лобового прожектора на основі ламп розжарювання.

Зазвичай для зручності обслуговування в експлуатації лобовий прожектор встановлюється у верхній частині кабіни машиніста по її осі - вище лобового вікна кабіни, таким чином, щоб була можливість його регулювання з кабіни машиніста. Згідно [77], найбільш високо прожектор буде встановлений для габариту Т, де центр світового тіла прожектора буде встановлений на висоті близько 4500 мм щодо головки рейки, найнижче прожектор встановлюється на локомотивах габариту 1-ВМ, 0-ВМ, де висота його центру зазвичай близько 3000 мм. Відстань, на якому світловий пучок лампового прожектора досягне головки рейки в загальному випадку є функцією висоти установки прожектора, і її можна оцінити за формулою:

$$L(h) = \frac{h}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.1)$$

де h - висота центру світового тіла прожектора щодо головки рейки, м; α - кут розбіжності променю прожектора, градус.

Таким чином, для прожектора з лампою розжарювання і локомотива габариту Т, бригада машиністів зможе бачити головку рейки на відстані більше $L = 172$ м, при цьому діаметр світлового пучка досягне 9 м. Для габариту 0-ВМ бригада машиністів зможе бачити головку рейки на відстані більше $L = 114$ м при цьому діаметр світлового пучка досягне 6 м. Деякі машиністи штучно нахиляють світло від прожектора вниз, щоб краще бачити лінію колії, однак не всі конструкції і кабіни машиніста, і прожекторів дозволяють це робити.

Згідно [15], відстань між осями суміжних колій для ліній зі швидкістю руху до $v = 120$ км/год дорівнює 5300 мм. Це означає, що зустрічна локомотивна бригада буде засліплювати лобовим прожектором на відстані більше:

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L(n) = \frac{m-n}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.2)$$

де $m = 5,3$ м - відстань між осями суміжних колій, n - половина ширини габариту рухомого складу, m, α - кут розбіжності світла прожектора, градус.

Таким чином, на прямій ділянці колії локомотивний прожектор на основі лампи розжарювання не є безпечним так як засліплює зустрічну локомотивну бригаду до дуже малої відстані до локомотива і ефективно підсвічує головку рейки колії, по якому йде локомотив на занадто великій відстані від локомотива, що може бути небезпечно так як машиніст не зможе відреагувати на об'єкт, що з'явився перед локомотивом.

Відомо, що нерівномірність освітлення підвищує стомлюваність машиніста і створює проблеми при адаптації, знижуючи гостроту зору. Таким чином, для забезпечення оптимального освітлення колії перед локомотивом необхідно розрахувати з якої відстані машиніст може фізично бачити шляхи і необхідну силу світла для даного напрямку.

Для оцінки мінімального кута, під яким може бути видно полотно залізниці (високий машиніст варто) слід скористатися формулою:

$$L(H) = \frac{Hl}{h_m - h_c}, \quad (4.3)$$

де $l = 600$ мм, мінімальна відстань від очей машиніста до лобового скла, $h_m = 1775$ мм, - висота очей машиніста (щодо підлоги кабіни) зі зростом 1900 мм, $h_c = 1050$ мм, мінімальна висота нижньої кромки скла (щодо підлоги кабіни; H - висота нижньої кромки скла щодо головки рейки, що залежить від габариту рухомого складу.

Відповідно з цієї відстані необхідно підсвічувати шлях такою силою світла, щоб освітленість ділянок була на рівні значень освітленості в кабіні машиніста.

Для того, щоб оцінити відстань, на якій машиніст повинен розрізнити перешкоду, використовуємо той факт, що колійні робітники не повинні перебувати на колії при наближенні поїзду, якщо відстань від них до поїзда становить $L = 400$ м і менше. На такій відстані при прямій ділянці колії прожектор локомотива створить освітленість, яку можна оцінити за формулою.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Omega = \frac{I_0}{L^2}, \quad (4.4)$$

де I_0 - максимальна по ГОСТ осьова сила світла прожектора, Кд; L -, відстань до локомотива, м.

Результат виразу (4.4), відповідає рівням освітленості від місцевого освітлення в кабіні машиніста локомотива, яке в основному і використовується машиністами під час руху вночі. Таким чином, уздовж профілю колії необхідно забезпечити освітленість $\Omega = 6$ Лк, для забезпечення мінімального стомлення очей машиніста. Тоді крива сили світла (КСС) у вертикальній площині можна розрахувати за формулою.

$$I(\alpha) = \frac{\Omega h^2}{\sin(\alpha)^2}, \quad (4.5)$$

де h - висота центру прожектора щодо головки рейки, м; α - кут падіння світла від осі прожектора, градус.

Слід враховувати, що вираз (4.5) має вигляд функціонала, який не може описати поведінку сили світла в кутах близьких до нуля. Для опису поведінки осової сили світла в цих кутах буде потрібно додаткове дослідження.

Результати розрахунку наведені для габариту Т на графіку рисунка 4.1 (результати розрахунку наведено у вигляді полярних координат), кут $I_{0.5} = 1.74$ градусів, $I_{0.1} = 3.9$ градусів.

Під час руху локомотив може рухатися не тільки по прямим ділянках колії, а й по кривих ділянках з різним радіусом кривизни, при цьому частка кривих на магістралях може досягати 30% від загальної протяжності колії [18]. Згідно [18], радіуси кривизни на залізниці різні і, в цілому, залежать від категорії лінії. При аналізі ефективності роботи прожектора локомотива на кривому ділянці колії необхідно крім радіуса кривизни ділянки знати і його тривалість, яка в загальному випадку не регламентується. Крім того, на шляхах існують перехідні криві, які використовуються для сполучення кривих колії різних радіусів і прямих колії між собою, їх радіус і довжина чітко регламентована в СТН Ц-01-95.

При русі локомотивної бригади для збереження безпеки руху необхідно бачити те, що відбувається безпосередньо на шляхах і навколо них, однак на кривих ділянках колії головка рейки йде в бік і не може бути ефективна підсвічена стандартним прожектором.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

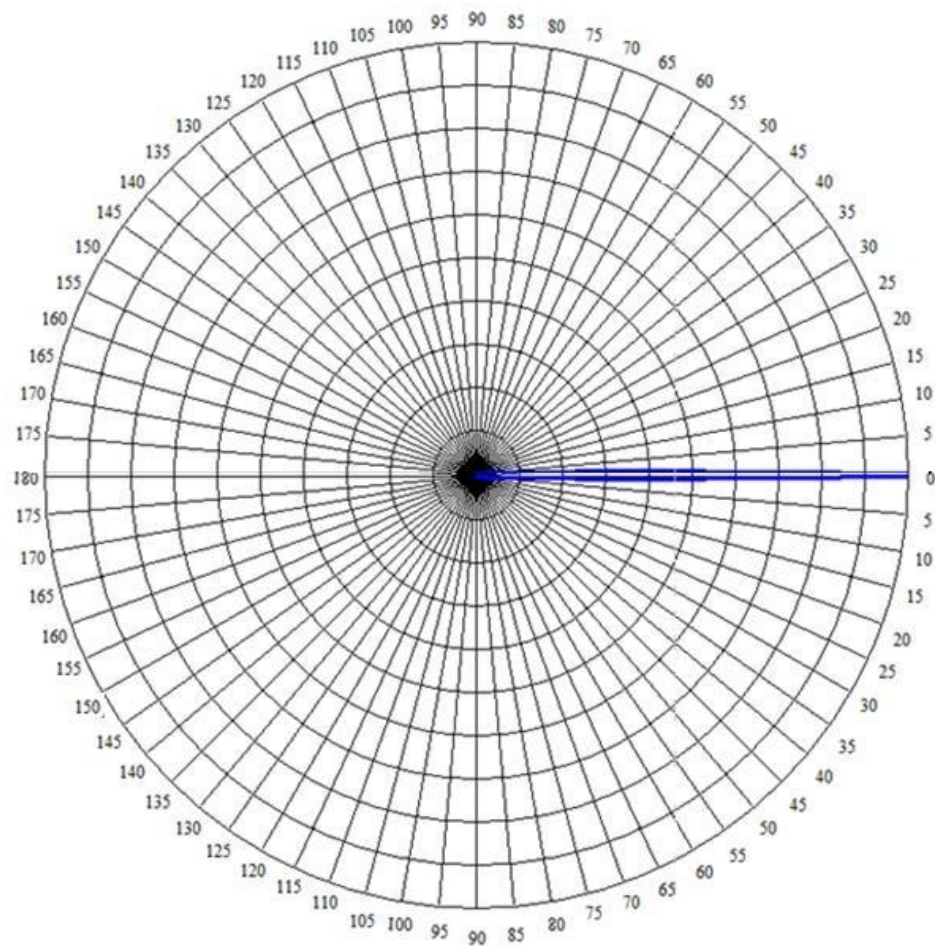


Рисунок 4.1 - Запропонована КСС прожектора у вертикальній площині

Довжина кривої частини колії, яка знаходиться під променем прожектора, і може бути їм підсвічена залежить від радіуса кривої і оцінюється зі співвідношення (рисунок 4.2):

$$L(R) = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ}, \quad (4.6)$$

де R - радіус кривизни колії, м

Результати розрахунків підсвічується довжини колії наведені в таблиці 4.1.

Якщо проаналізувати дані таблиці 4.1 спільно з результатами обчислення (4.1), то вийде, що лобовий прожектор освітлює невелику ділянку колії на кривих радіусом 4 і 3 км, в інших випадках шлях підсвічується незначно за рахунок несфокусованого світла прожектора і роботи буферних ліхтарів (рисунок 4.3), що негативно позначається на безпеці руху.

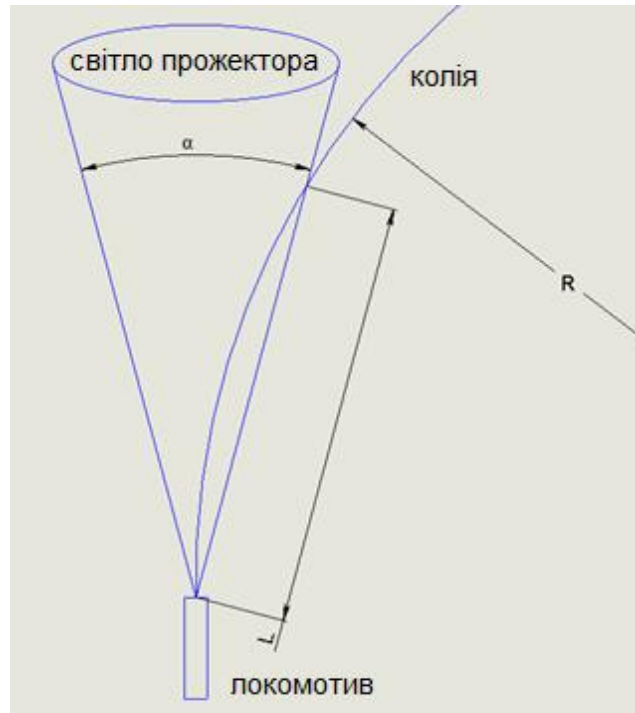


Рисунок 4.2 - Пояснення до розрахунку видимості колії при повороті



Рисунок 4.3 - Вид з кабіни машиніста вночі при стандартному лобовому прожекторі

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 - Результати розрахунку за формулою (4.6)

Радіус кривизни колії, м	Підсвічений шлях, м
4000	209,43
3000	157,08
2500	130,90
2000	104,72
1800	94,25
1500	78,54
1200	62,83
1000	52,36
800	41,89
700	36,65
600	31,42
500	26,18
400	20,94
350	18,33
300	15,71
250	13,09
200	10,47

Найбільші труднощі виникають із забезпеченням ефективної підсвічування колії при кривих малого радіусу. Так як довжина кривих колії не регламентується, то вони можуть бути і круговими, а збільшення кута поширення світла локомотивного прожектора при збереженні осьової сили світла зажадає значно більшої потужності лампи розжарювання. При проходженні кривих найменшого радіуса прожектор повинен забезпечувати можливість підсвічування колії на тому ж рівні, як і шлях перед собою. Згідно (4.7), можна уявити необхідну криву сили світла в площині до кута в 45 градусів. Після кута в 45 градусів велика сила світла в бічному напрямку недоцільна. Випромінювання прожектора в кутах 45-90 градусів, в більшості ситуацій буде підсвічувати лісові насадження, який знаходиться паралельно колії.

$$\left\{ \begin{array}{ll} I(\varphi) = \frac{\Omega L_1^2}{\cos(\varphi)^2}, & \varphi \in [-45, +45] \\ I(\varphi) = \frac{\Omega L_2^2}{\sin(\varphi)^2}, & \varphi \notin [-45, +45] \end{array} \right. \quad (4.7)$$

де L_2 - відстань від рухомого складу до насаджень, м; L_1 - відстань від рухомого складу до перешкоди, 400м.

Результати розрахунку вираження (4.7) наведені на рисунку 4.4, побудованому в полярній системі координат.

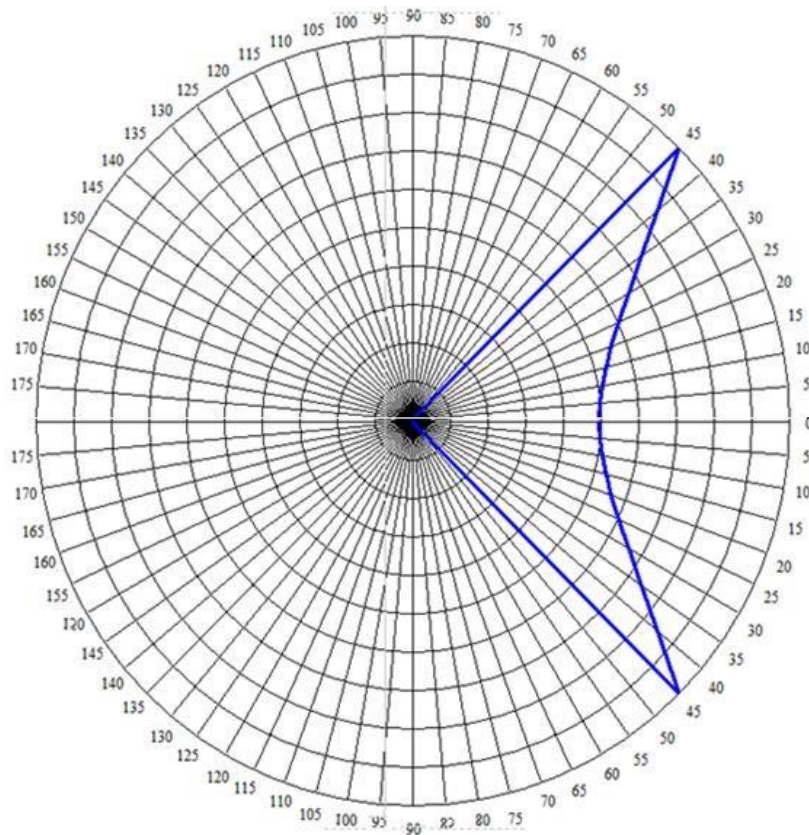


Рисунок 4.4 - Запропонована КСС прожектора в горизонтальній площині

В сучасних локомотивах останнім часом в якості джерела світла для прожектора використовують світлодіоди, а сам прилад являє собою розподілену систему на основі одиничних світлодіодів або світлодіодних модулів [14]. Завдяки цьому стає принципово можливо забезпечити практично будь-яку криву сили світла для лобового прожектора.

Локомотив із запропонованою КСС лобового прожектора буде засліплювати зустрічну локомотивну бригаду, що негативно вплине на безпеку руху. Для

запобігання засліплення потрібно, щоб зустрічний локомотив не попадав в КСС прожектора. Для цього необхідно визначити кут, під яким буде видна кабіна машиніста зустрічного локомотива (рисунок 4.5). З рисунка видно, що кут під яким видно зустрічну кабіну залежить від відстані до неї, при цьому він буде тим менше чим більше відстань між кабінами.

$$\gamma(L) = \arctan\left(\frac{n+m}{L}\right) - \arctan\left(\frac{m-n}{L}\right), \quad (4.8)$$

де m - відстань між осями колії, m ; n - половина ширини габариту рухомого складу, m .

Таким чином, необхідно виключити сектор з КСС в горизонтальній площині як мінімум в 0,5 градусів при відстані між локомотивами в 400м.

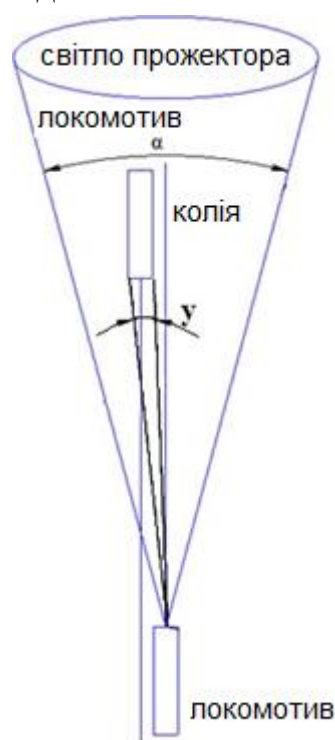


Рисунок 4.5 - Пояснення до розрахунку запобігання засліплення зустрічній бригади

Існують різні технічні рішення для динамічної зміни кривої сили світла світильників, всі вони засновані на електромеханічних компонентах. Застосовуючи світлодіоди в якості джерела світла можна змінювати напрямок випромінювання всього приладу підключаючи і відключаючи поодинокі світлодіоди і модулі, без застосування відомих електромеханічних компонентів.

Слід зазначити, що для виділення з КСС кута в 0,5 градусів потрібна вузькоградусна оптика, а це накладає жорсткі вимоги на конструкцію оптичної

системи. Крім того, в даному випадку, з-за малого кута розбіжності, світловий пучок теж не буде сформований на відстані $L = 400$ м, тобто сила світла приладу не досягне необхідних значень - не буде отриманий потрібний рівень освітленості перед локомотивом.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що ефективним буде використання вузькоградусної оптики здатної сформувати світловий потік прожектора на відстані $L = 10 - 20$ м від локомотива і зміна кривої сили світла для горизонтальній площині в великих кутах, ніж показує рішення вираження (4.8). Фізично це призведе до того, що досить велика частина освітлюється простору навколо кабіни зустрічного локомотива буде не освітлена або освітлена слабо. Однак, простір безпосередньо біля кабіни зустрічного локомотива може нести небезпеку безпосередньо тільки цього локомотиву, і повинен освітлюватися і контролюватися силами зустрічного локомотива.

4.2 Розробка прожектора локомотива з функцією змінною діаграми спрямованості

Питання безпечного руху поїзда в нічний час доби є важливим і актуальним. Стандартний прожектор освітлює тільки прямолінійний ділянку колії, що лежить попереду. Починаючи з 70-х років ХХ століття, конструктори галузі автомобілебудування стали пропонувати різні варіанти адаптивної оптики для автомобіля. Основне завдання даної оптики полягала в зміні ДН при зміні поведінки автомобіля. Такі фари більш ефективно висвітлюють дорожнє полотно при повороті автомобіля, повноцінно висвітлюють тротуар в умовах міського руху і запобігають осліплення водія зустрічного автомобіля. Оптика найчастіше побудована на основі ксенону і складається з одного або декількох сегментів з рухомими елементами. Принцип дії даної системи заснований на отриманні інформації про швидкість автомобіля, кут повороту рульового колеса і ще декількох датчиків. Отримавши інформацію від систем автомобіля, система приймає рішення про необхідність зміни положення оптичних елементів один щодо одного за допомогою набору крокових двигунів. Відомо, що електромеханічні компоненти є одними з найбільш низько надійних елементів. Тому, при русі може виникнути ситуація, коли фари заклинити в одному з положень. Одна з останніх розробок в цьому напрямку - розробки фірми «Ауді», яка називається Audi Matrix LED. Її принципова відмінність від попередніх розробок в тому, що застосовується матриця з 25 світлодіодів, розбита на 5 груп по 5 світлодіодів. Кожна група має власну оптичну систему зі своїм управлінням. Незважаючи на наявність електромеханічних компонентів, застосування такої

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи принципово збільшує надійність адаптивної оптики автомобіля.

Для залізниці прожектор є особливо відповідальним виробом, що відповідає за безпеку. Застосування потенційно ненадійних елементів неприпустимо - використання будь-яких поворотних механізмів неприйнятно. Принципово можливо розробити прожектор з функцією змінною діаграми спрямованості, застосовуючи матричний метод організації КСС: кожна частина прожектора формує певну частину КСС.

Зазначена мета досягається тим, що в прожектор локомотива введені додаткові світлові випромінювачі, які виконують функції N прожекторів, почергове включення і виключення яких здійснюється в залежності від інформації по повздовжньому профілю попереду лежачого колії, одержуваних від бази даних, що є на локомотиві і в результаті визначення точки розташування локомотива по супутниковому зв'язку.

На рисунку 4.6 приведена схема прожектора локомотива залізничного транспорту.

Сутність виробу полягає в тому, що в пристрій введені модем GPS/ГЛОНАСС, блок бази даних і випромінювачі світлового потоку, виходами підключених виходами блоку управління, а вихід модему GPS з'єднаний з входом блоку бази даних, причому напрямку випромінювання світлового потоку різняться утворюють необхідну область випромінювання світлового потоку за умовами руху локомотива в кривих ділянках колії. У пристрій введений фотоприймач, спрямований в бік руху локомотива, його завдання полягає в фіксації навколишнього локомотив обстановки.

Таким чином, дане технічне рішення дозволяє отримати підсвічування навколишнього локомотив простору в широкому куті, що не засліплюючи зустрічну локомотивну бригаду.

Для практичної реалізації запропонованого прожектора зі змінною ДН, аналіз якої виконаний в попередньому розділі, скористаємося наступними припущеннями.

1) Використовуються вісесесиметричні лінзи з глибокої ДН, це припущення необхідно для виключення можливості неправильної установки лінз при складанні виробу і спрощення їх геометрії;

2) Прожектор розглядається як система по різному орієнтованих оптичних елементів, які співосні у вертикальній площині і направлені паралельно колії, це припущення необхідно для спрощення розрахунків і геометрії профілю кінцевого виробу, що дозволить виготовляти його по більш простій технології,

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					74

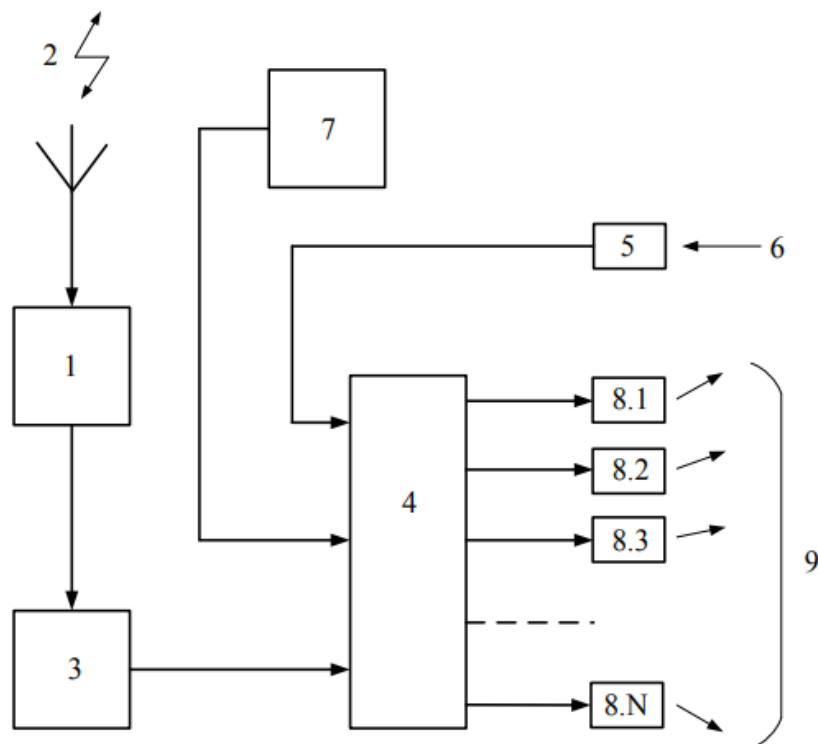
наприклад, екструзією.

При проектуванні і розрахунку ДН буде використовуватися той факт, що силу світла від декількох СТ можна складати якщо вони мають одне і теж напрямок і знаходяться в одній точці.

Кожне СТ має світлорозподілення відповідно до своєї системи координат, для розрахунку системи СТ необхідно вибрати загальну систему координат, і поєднати приватні системи з нею шляхом повороту приватних систем на певний кут. Для двовимірного випадку це буде:

$$I(\varphi) = I_1(\varphi - \varphi_1) + \dots + I_n(\varphi - \varphi_n), \quad (4.9)$$

де $I(\varphi)$ - розподіл сили світла системи СТ, Кд; I_i - сили світла окремих СТ, Кд; φ_i - кути повороту приватних систем координат щодо загальної системи.



1 - GPS/ГЛОНАСС модем, 2 - канал радіозв'язку, 3 - блок бази даних, 4 - блок управління, 5 - фотоприймач, 6 - випромінювання від зустрічного локомотива, 7 - блок ручного управління прожектором 8.1 - 8.N - випромінювачі світлового потоку, які висвітлюють ділянку залізничної колії, що лежить попереду, 9 - простір перед локомотивом.

Рисунок 4.6 - Функціональна схема прожектора

Згідно виразами (4.4), (4.5), (4.7), (4.9), КСС системи може бути описана за допомогою системи рівнянь:

					Арк.
					75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$\left\{ \begin{array}{l} I(\varphi) = \frac{I_0}{[\cos(\varphi)]^2} = \frac{m_1 \Omega h^2}{[\sin(\varphi - \varphi_1)]^2} + \dots + \\ + \frac{m_n \Omega h^2}{[\sin(\varphi - \varphi_n)]^2} \quad , \varphi \in [-45, +45] \\ \\ I(\varphi) = \frac{\Omega L_2^2}{\sin(\varphi)^2}, \quad \varphi \notin [-45, +45] \end{array} \right. \quad (4.10)$$

де I_0 - осьова сила світла прожектора, 960 ККД; h - висота центру прожектора щодо головки рейки, м; m_i - ваговий коефіцієнт модуля в системі, L_2 - відстань від локомотива до лісових насаджень, м.

З урахуванням допущення про осьової симетрії пристрою можна записати:

$$\left\{ \begin{array}{l} I(\varphi) = \frac{I_0}{[\cos(\varphi)]^2} = \Omega h^2 \left[m_1 \left(\frac{1}{[\sin(\varphi - \varphi_1)]^2} + \frac{1}{[\sin(\varphi - \varphi_n)]^2} \right) + \right. \\ \left. + m_{0.5n} \left(\frac{1}{[\sin(\varphi - \varphi_2)]^2} + \frac{1}{[\sin(\varphi - \varphi_{n-1})]^2} \right) + \dots \right] \quad , \varphi \in [-45, +45] \\ \\ I(\varphi) = \frac{\Omega L_2^2}{\sin(\varphi)^2}, \quad \varphi \notin [-45, +45] \end{array} \right. \quad (4.11)$$

Невідомими в цій системі є параметри φ_i і m_i . Очевидна зв'язок між ними: чим менше крок за кутом між лінзами, тим менше різниця у ваговому коефіцієнті суСДніх світлових елементів і тим більше вартість готового виробу. Мінімальний крок між суСДніми елементами залежить від геометричних розмірів лінз, який визначається яскравістю СД. Максимальний крок між суСДніми елементами залежить від кута, на якому відбувається зменшення сили світла в два рази, який визначається відношенням геометричних розмірів СД і оптики.

Зробимо оцінку потужності споживання запропонованого пристрою. У загальному випадку світловий потік Φ розраховується наступним чином.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	76

$$\Phi = \int_{c=0}^{2\pi} \int_{\gamma=0}^{\pi} I(c, \gamma) dc d\gamma \quad (4.12)$$

Прожектор є набором окремих світлових модулів з круглосімметрічним світлорозподілом.

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi_i \quad (4.13)$$

$$\Phi_i = 4\pi \int_{\varphi=0}^{\pi/2} I(\varphi) \sin(\varphi) d\varphi \quad (4.14)$$

$$\Phi_i = 4\pi \int_{\varphi=0}^{\pi/2} \frac{\Omega h^2 d\varphi}{\sin(\varphi)} \quad (4.15)$$

З курсу математичного аналізу відомо.

$$\int \frac{dx}{\sin(x)} = \ln \left| \operatorname{tg}\left(\frac{x}{2}\right) \right| \quad [127] \quad (4.16)$$

Вираз (4.5) справедливо тільки при $\varphi \geq 0,011$ рад. Пучок випромінювання всередині цього кута має силу світла 960 кКд.

$$\Phi_i = 4\pi(\Omega h^2 (-\ln \left| \operatorname{tg}\left(\frac{0.011}{2}\right) \right| + 960 \cdot 10^3 \cdot 0.011)) \text{ Лм} \quad (4.17)$$

Вираз (4.15) показує, що основна потужність пучка знаходиться всередині кута 0,022 радий. На відстані $L = 400$ м для габариту Т конус з цим лінійним кутом має світлову пляму діаметром 9 метрів, що приблизно дорівнює висоті двох локомотивів. В цілому, це є надмірною і вимагає великих витрат світлового потоку. У зв'язку з цим необхідно переглянути КСС для кутів при яких сила світла більше 50% від осьової. Розглянемо систему рівнянь (4.18) і знайдемо необхідний світловий потік для неї.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left\{ \begin{array}{ll} I(\varphi) = \frac{\Omega h^2}{\sin(\varphi)^2} & \varphi \notin [0; 0,87] \\ I(\varphi) = 960 \cdot 10^3 \cos(68,97\varphi) & \varphi \in [0; 0,87] \end{array} \right. \quad (4.18)$$

$$\Phi_i = 4\pi \left(\int_{\varphi=0,0152}^{\pi/2} \frac{\Omega h^2 d\varphi}{\sin(\varphi)} + 960 \cdot 10^3 \int_0^{\varphi=0,0152} \cos(68,97\varphi) \sin(\varphi) d\varphi \right) \quad (4.19)$$

В результаті рішення вираження (4.19) отримаємо, що $\Phi = 7.836$ кЛм. Це відповідає світловому потоку стандартного прожектора, що говорить про те, що вираз (4.18) оптимально описує модуль пропонованого прожектора [9].

Світловий потік сучасних світлодіодів в корпусі 3535 досягає $E_{\text{eff}} = 168$ Лм/Вт. Це говорить про те, що споживана потужність одного модуля без урахування ККД живильного джерела буде близько $P = 47$ Вт. Якщо прожектор буде складатися з 46 модулів (2 градуси між модулями), то потужність всього прожектора відповідно до виразу (4.11) буде дорівнює $P = 1.4$ кВт. Якщо знизити осьову силу світла, наприклад, до $I_0 = 750$ ККД (на 22%), що дозволено нормами безпеки, то максимальна споживана потужність знизиться до $P = 1,1$ кВт.

На практиці представлені на рисунках 4.1 і 4.4 КСС буде використовуватися відносно рідко і в перебігу короткого проміжку часу, наприклад, при проїзді переїзду. На практиці найбільш часто зустрічаються криві шляхи радіусом понад $R=450$ м. Згідно виразу (4.6) кут для ефективного освітлення колії довжиною $L=400$ м повинен бути рівний або більш 50,93 градусів. З огляду на те, що машиністу необхідно підсвічувати тільки ту область колії, в яку йде поворот, то половину променю можна відключити. Споживана потужність при осьовій силі світла $I_0 = 960$ ККД в цьому випадку складе $P = 650$ Вт без урахування ККД перетворювача, що відповідає споживаній потужності від лампового прожектора. Незважаючи на те, що прожектор буде працювати в граничних режимах нетривалий час, необхідно забезпечити оптимальне для граничного режиму роботи охолодження.

4.3 Варіанти реалізації системи управління шириною променю прожектора

При розробці керованого прожектора необхідно визначити спосіб, завдяки якому система буде відслідковувати необхідну для безпечного руху ширину

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

променю. Для визначення ширини променю система повинна визначити радіус кривої руху і наявність зустрічного локомотива.

Для управління шириною пучка принципово можна використовувати кілька способів.

- використовувати супутникову прив'язку локомотива до графу доріг,
- використовувати систему відеоспостереження, яка спрямована уздовж колії проходження потягу,
- використовувати інформацію від елементів ЄКР, розташовані уздовж колії проходження потягу.

Використання супутникової прив'язки до графу доріг, вимагає можливості зв'язку супутника для геопозиціонування, а також створення графа залізничного полотна.

Граф доріг - це цифрова векторна карта, що складається з пов'язаних дуг і вузлів, розташування і властивості яких із заданою точністю і повнотою передають маршрути і організацію руху транспорту.

Граф доріг містить два основних типи об'єктів - дуги і вузли.

Дуги графа можна побудувати по лініях залізничної колії доріг, із забезпеченням топології в точках примикання. Вузли можуть послідовно з'єднувати дві дуги, що мають різні характеристики, або з'єднувати кілька дуг в місцях перехресть, розвилки і т.п.

Для обліку радіуса кривизни колії при регулюванні кута світла прожектора можна використовувати прив'язку положення рухомого складу, отриманого засобами GPS позиціонування, до графу залізничного полотна.

Відомо, що існує похибка визначення положення рухомого об'єкту на треку. Цю похибку можна оцінити таким чином.

$$\delta = \delta_{НС} + \delta_{ТР} + \delta_{АП} + \delta_{ПР}, \quad (4.20)$$

де $\delta_{НС}$ - похибка формування шкали часу на супутнику, $\delta_{ТР}$ - похибка, що виникає при проходженні сигналу до споживача, $\delta_{АП}$ - похибка апаратури споживача, $\delta_{ПР}$ - інші випадкові похибки.

Похибки $\delta_{НС}$ виникають внаслідок недосконалості процедур звірки та зберігання бортовий шкали часу. Вони проявляються в зміщенні фаз випромінюваних кодів і міток часу, що призводить до похибок вимірювання відстані до супутника і розрахунку його координат.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					79

Похибка $\delta_{\text{ТР}}$ проявляється в додаткових затримках сигналу, що виникають через викривлення траси поширення радіохвиль при проходженні різних шарів атмосфери Землі.

До $\delta_{\text{АП}}$ відносять похибки стеження за моментом приходу сигналу супутника в апаратурі споживача.

Сумарна похибка визначення положення, викликана описаними вище причинами, становить близько $\delta = 10$ м, проте існує відключена похибка $\delta_{\text{СЕЛ}}$ - похибка селективного доступу, похибка визначення положення при наявності цієї похибки досягає $\delta_{\text{СЕЛ}} = 100$ м.

Чергова похибка, що впливає на похибку визначення положення: положення супутників один до одного з точки зору приймача. При певних видах розташування приймача і супутників ця похибка може досягати до $\delta = 150$ м.

Рівень похибок, дозволяє зробити висновок про те, що система управління на основі супутникової навігації може давати істотну погрішність у визначенні місцезнаходження рухомого складу і може ефективно використовуватися тільки на протяжних ділянках колії.

На основі описаних вище похибок визначення положення, можна оцінити похибку встановлення кута прожектора, який необхідно вимикати для виключення засліплення зустрічній бригади.

У загальному випадку максимальну похибку визначення кута установки можна розрахувати за формулою:

$$\Delta\gamma(L_1, L_2) = \gamma(L_1) - \gamma(L_2), \quad (4.21)$$

де L_1 , L_2 - мінімальне і максимальне відстані між локомотивами в умовах розрахунку їх положення на шляхах, м.

Для прямого ділянки колії вираз (4.21) набуде вигляду.

$$\gamma(L_1, L_2) = \arctan\left(\frac{n+m}{L_1}\right) - \arctan\left(\frac{m-n}{L_1}\right) - \arctan\left(\frac{n+m}{L_2}\right) + \arctan\left(\frac{m-n}{L_2}\right), \quad (4.22)$$

де m - відстань між осями колії, n - половина ширини габариту рухомого складу, м.

Для кривих вираз (4.21) набуде вигляду (рисунок 4.7).

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma(L_1, L_2) = \arctan\left(\frac{n+m}{2R \sin(\frac{L_{d1}}{2R})}\right) - \arctan\left(\frac{m-n}{2R \sin(\frac{L_{d1}}{2R})}\right) - \arctan\left(\frac{n+m}{2R \sin(\frac{L_{d2}}{2R})}\right) + \arctan\left(\frac{m-n}{2R \sin(\frac{L_{d2}}{2R})}\right), \quad (4.23)$$

де R - радіус кривої, м; n - половина ширини габариту рухомого складу, м; L_d - відстань між зустрічними рухливими складами, якби вони рухалися по одній дузі, м.

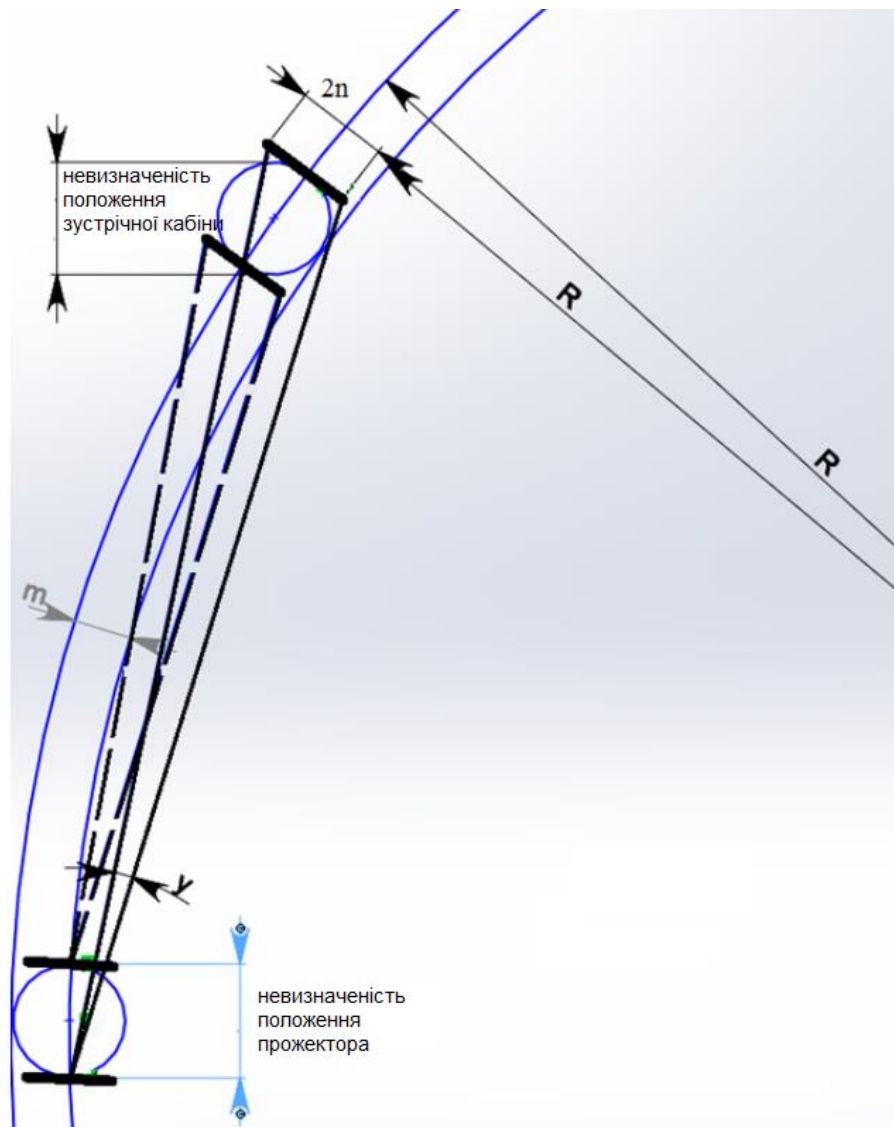


Рисунок 4.7 - До визначення похибки ширини кута прожектора в кривих.

На підставі наведених тверджень і розрахунків, можна зробити висновок про те, що використання супутникової навігації як єдиний спосіб визначення необхідної ширини пучка світла недоцільно через малу точність.

Використання системи відеоспостереження призводить до необхідності введення нового елемента в систему безпеки - системи відеоспостереження, що підвищує капітальні та експлуатаційні витрати.

Система відеоспостереження повинна працювати цілодобово і за будь-яких погодних умовах.

Система повинна забезпечувати безперервне спостереження за шляхами, по яких відбувається рух, визначення напрямку їх поширення, локалізацію та розпізнавання зустрічного рухомого складу.

Робота системи відеоспостереження супроводжується значними змінами умов освітленості, що неминуче призводить до зміни контрасту зображення по яскравості і завитці окремих ділянок навколишнього оточення при певних положеннях сонця або при наявності дзеркальних об'єктів недалеко від колії, здатних перерозподілити світловий потік сонця в сторону аналізованого ділянки.

Функціонування системи відеоспостереження складається з наступних часових етапів.

- 1 Отримання зображення від системи.
- 2 Перетворення отриманого зображення в бінарне (чорно-біле).
- 3 Локалізація важливих компонентів (рухомий склад, колія) на бінарному зображенні.
- 4 Ухвалення рішення про наявність/відсутність зустрічного рухомого складу і напрямку колії.

Математично завдання перетворення кольорового зображення в бінарне можна описати наступними функціональними виразами

$$\begin{cases} i'(x, y) = 0, i(x, y) \leq p \\ i'(x, y) = 1, i(x, y) > p \end{cases}, \quad (4.24)$$

де i' - яскравість пікселя результуючого зображення, i - яскравість пікселя вихідного зображення, x, y - координати пікселя, p - поріг бінаризації. В даному вираженні значення i' рівне 1 буде надавати пікселя білий колір.

Яскравість пікселя вихідного зображення розраховується з виразу.

$$i(x, y) = 0.3R + 0.59G + 0.11B, \quad (4.25)$$

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де R, G, B - координати кольору в моделі RGB.

Існує кілька способів визначення оптимального порогу бінаризації [19]. Для вибору порога необхідно вивчити геометричні і колірні параметри розпізнаваних об'єктів.

Система відеоспостереження повинна пізнати 2 значущих об'єкта: рухомий склад і колії свого проходження.

При однозначному розташуванні (певне розташування камери на певному типі локомотива) система точно може визначити початок колії, по якому відбувається рух. Яскравість пікселів колії принципово відрізняється від яскравості оточення колії (фону) за рахунок відбиття світла від зовнішніх джерел таких як прожектор, сонце і т.п. Зустрічний поїзд в також має яскраві об'єкти - буферні ліхтарі і прожектор. Для визначення положення колії і положення прожектора з буферними ліхтарями зручно використовувати визначення порогу на основі методу Отцу. Метод Отцу використовує гістограму розподілу яскравості пікселів на зображенні і розраховує поріг таким чином, щоб дисперсія білих і чорних пікселів обробленого зображення була мінімальна [19].

$$f_i = \frac{n_i}{N}, \quad (4.26)$$

де N - число пікселів зображення, n_i - число пікселів з рівнем яскравості

$$\omega_0(p) = \sum_{i=0}^p f_i \quad (4.27)$$

$$\omega_1(p) = 1 - \omega_0(p), \quad (4.28)$$

де ω_0 і ω_1 - частоти появи пікселя чорного і білого кольорів відповідно

Тоді внутрикласова дисперсія буде дорівнює.

$$\sigma_{\text{вкл}}^2(p) = \omega_0(p) \cdot \sigma_0^2(p) + \omega_1(p) \sigma_1^2(p), \quad (4.29)$$

де σ_{20} і σ_{21} - дисперсії чорного і білого класу пікселів відповідно.

Результати бінаризації для різних ситуацій і погодних умов представлені на рисунках 4.8-4.12. При цьому методі бінаризації необхідно враховувати, що шляхи, наприклад, в зимовий час можуть бути темніше фону.

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.8 - Зображення реальне і оброблене колії вночі в зимовий час при наявності паразитного засвічення.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	84



Рисунок 4.9 - Зображення реальне і оброблене колії в сутінки в літню пору при відсутності паразитного засвічення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85



Рисунок 4.10 - Зображення реальне і оброблене колії і зустрічного складу з увімкненими світловими сигналами в день в зимовий час при відсутності паразитного засвічення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86



Рисунок 4.11 - Зображення реальне і оброблене колії і зустрічного складу з увімкненими світловими сигналами в день в зимовий час при відсутності паразитного засвічення.

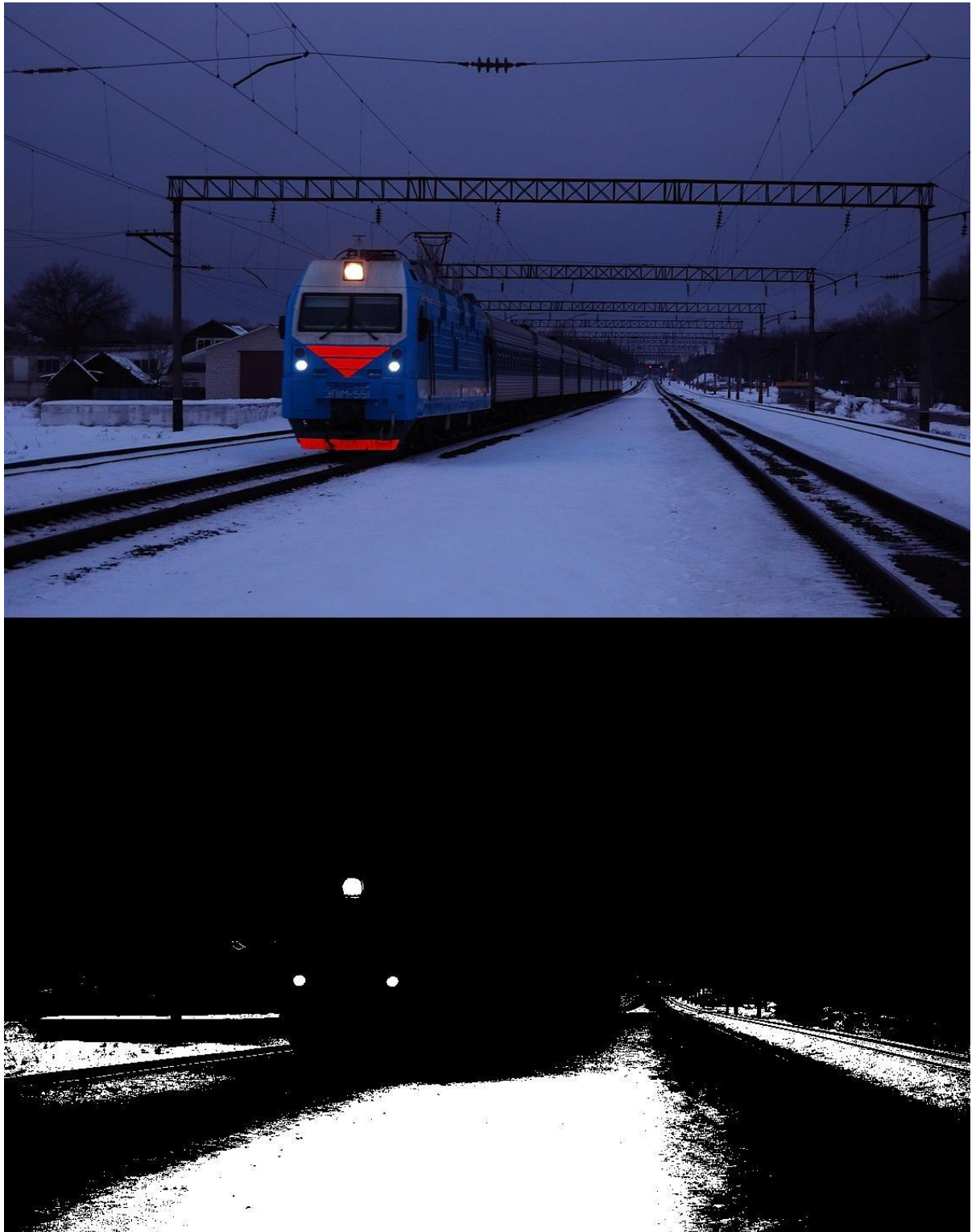


Рисунок 4.12 - Зображення реальне і оброблене зустрічного складу з увімкненими світловими сигналами вночі в зимовий час при відсутності паразитного засвічення.

Очевидно, що при достатньому контрасті об'єкта на тлі, локалізація об'єкта не становить труднощів. Так як апріорі відомий початковий сегмент для пошуку колії і зустрічних складів (для конкретного розташування системи

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

відеоспостереження), то для завдання локалізації найбільш підходять кореляційний аналіз зображення або перетворення Хафа.

Метод кореляційного аналізу полягає в розрахунку кореляції еталонного і спостережуваного зображення [19].

При пошуку і локалізації за зразком виконується кореляційний обробка ознак, отриманих від еталону і вхідного зображення, отриманого від системи відеоспостереження.

З безлічі варіантів вибирається той еталон, при якому виходить максимальна сума взаємної кореляції з зображенням. Очевидно, що даний метод не оптимальний для локалізації зустрічного складу т. к. він змінюється в геометричних розмірах і, в загальному випадку може виглядати принципово по-різному через особливості дизайну. Таким чином, для локалізації зустрічного рухомого складу буде потрібно велика кількість еталонів як геометрично, так і структурно різних між собою. З іншого боку, при певному положенні системи відеоспостереження для певного типу рухомого складу існує обмежене число еталонів для визначення кривизни колії, завдяки чому можна отримати досить точне управління шириною пучка в повороті.

Перетворення Хафа призначене для локалізації на зображенні ліній, заданих параметричними рівняннями [19]. Для підвищення його точності застосовується метод виділення градієнта яскравості. При цьому, виділення градієнта яскравості на вже бінаризованими картині зображення дозволить зменшити кількість обчислень так як безліч елементів вихідного зображення буде уважно розглядатися. Для спрощення перетворення вихідне зображення розбивається на кілька сегментів, і перетворення проводиться тільки в тих, в яких зображення обов'язково повинно бути. Наприклад, при конкретної установці системи відеоспостереження початкове місце розташування головки рейки відомо. Після цього перетворення Хафа проводиться для цього квадрата і оточуючих його областей. Таким чином, поступово буде визначена вся форма залізничного полотна.

До недоліків управління КСС лобового прожектора за допомогою системи відеоспостереження можна віднести складність визначення положення і напрямку колії, особливо в погану погоду і на далеких відстанях, неможливість передбачення поведінки колії після проходження даного відрізка проходження, відносно короткий відстань, на якому буде чітко визначених зустрічний локомотив.

Завдання ЄКР полягає в підтримці заданої швидкості і розрахунку її оптимального значення і мінімізації витрат електроенергії при дотриманні

						Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розкладу руху рухомого складу.

До складу ЄКР входять шляхові (підлогові) пристрої, завданням яких є передача на локомотив інформації про прохідному блок-ділянці (його довжина, кут нахилу і т.п.). Принципово можливо доповнити інформацію, передану від підлогових систем на локомотив, даними про криві на блок ділянці: тривалість, радіус, послідовність на колії.

Таким чином, стає принципово можливо управляти КСС лобового прожектора використовуючи дані про конкретний блок ділянці, синхронізуючи і оновлюючи їх в момент проходження нової ділянки. Подібна система має здатність «передбачати» зміни горизонтального профілю кривої, ґрунтуючись на даних про швидкості локомотива і часу пройшов з моменту отримання даних про профілі колії блок-ділянки.

До недоліків подібного рішення можна віднести нездатність системи запобігати засліплення зустрічній локомотивної бригади через відсутність даних про її місцезнаходження.

На підставі вищесказаного, можна зробити висновок про те, що для оптимального управління КСС лобового прожектора здатного підвищити безпеку руху локомотива необхідно використовувати кілька систем. Найбільш точне управління буде мати місце при одночасній обробці інформації від всіх трьох описаних вище елементів.

4.4 Розробка системи передачі інформації для локомотива через атмосферну оптичну лінію зв'язку

Для передачі інформації з відкритого оптичного каналу зв'язку на залізниці необхідно за певним законом змінювати параметр амплітуди світлової хвилі від передавача. Здійснюють таку модуляцію в СД за допомогою зміни струму накачування. Слід розрізняти статичний, при постійному струмі накачування, і динамічний, при імпульсній накачуванні, режими роботи передавача випромінювання.

У СД залежність потужності випромінювання від частоти модуляції струму накачування представляється монотонної функцією [19].

$$P(f) = \frac{P_0}{\sqrt{1 + (2\pi f\tau)^2}}, \quad (4.30)$$

де P_0 - потужність випромінювання при постійному струмі, Вт; τ - час життя

						Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неосновних носіїв в області рекомбінації випромінювання електронно-діркового переходу, с.

Гранична частота f модуляції СД дорівнює

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (4.31)$$

Очевидно, що її реальне значення менше і істотно залежить від електричного імпедансу діода.

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} \quad (4.32)$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi C_j r_m}, \quad (4.33)$$

де C_j - ємність активного шару, Ф; C_m - ємність монтажу, Ф; L_m - індуктивність монтажу, Гн; r_m - опір монтажу, Ом.

Тоді гранична частота модуляції може бути оцінена наступним чином:

$$f = \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} \right)^{-1} \quad (4.34)$$

Крім того, частоту модуляції в разі білого світлодіода буде обмежувати люмінофор. Вплив люмінофора на частоту буде в першу чергу залежати від складу і кількості люмінофора в конструкції світлодіода. Одним з головних параметрів приймача випромінювання є спектральна характеристика чутливості, яка відображає реакцію приймача на вплив випромінювання з різною довжиною хвилі, вона визначає спектральну область застосування приладу.

Іншими важливим параметрами є:

- енергетична характеристика, яка відображає залежність фотовідгуку приладу від інтенсивності збуджуючого потоку випромінювання і в загальному випадку є нелінійною,
- порогова характеристика, показує здатність фотоприймача реєструвати випромінювання малої інтенсивності. В основному визначається рівнем власних шумів приладу,
- частотна характеристика описує залежність чутливості приладу від

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти модуляції випромінювання або тривалості імпульсів і характеризує інерційність приладу.

Інерційність фотоприймача характеризують постійні часу наростання і спаду фотовідгуку для імпульсу випромінювання. Зростання і спад фотоструму зазвичай описується експонентними залежностями [19].

Крім того, необхідно враховувати ефекти багаторазових відображень від зовнішніх елементів і елементів конструкції, які можуть виникнути в приймальнику. Багаторазові відбиття зменшують верхню граничну частоту сигналу, одним із способів боротьби з ними може бути обмеження діаграми спрямованості приймача за рахунок елементів оптики або конструкції приладу.

Безпосереднє застосування даного способу зв'язку на залізниці для обміну інформацією між локомотивом і підлоговим обладнанням було утруднено через малого застосування світлодіодів на рухомому складі, наприклад, в якості прожектора, а також з-за вузького променя прожектора локомотива, тому що даний вид зв'язку вимагає точного наведення джерела на приймач. При використанні на локомотиві прожектора з широкою змінної діаграмою спрямованості, стає принципово можливо наводити інформаційний пучок на будь-яке розташування приймача близько колії. Сигнал принципово можливо підмішувати до рівня постійного світла від прожектора, за допомогою додавання невеликого відсотка високочастотної пульсації. Машиніст дану пульсацію відчувати не буде, тому що максимальна частота, на яку реагує людський організм не перевищує кілогерца. Таким чином, на залізниці стає можливо організувати новий канал зв'язку, що позитивно позначиться на достовірності переданої інформації і на безпеці руху.

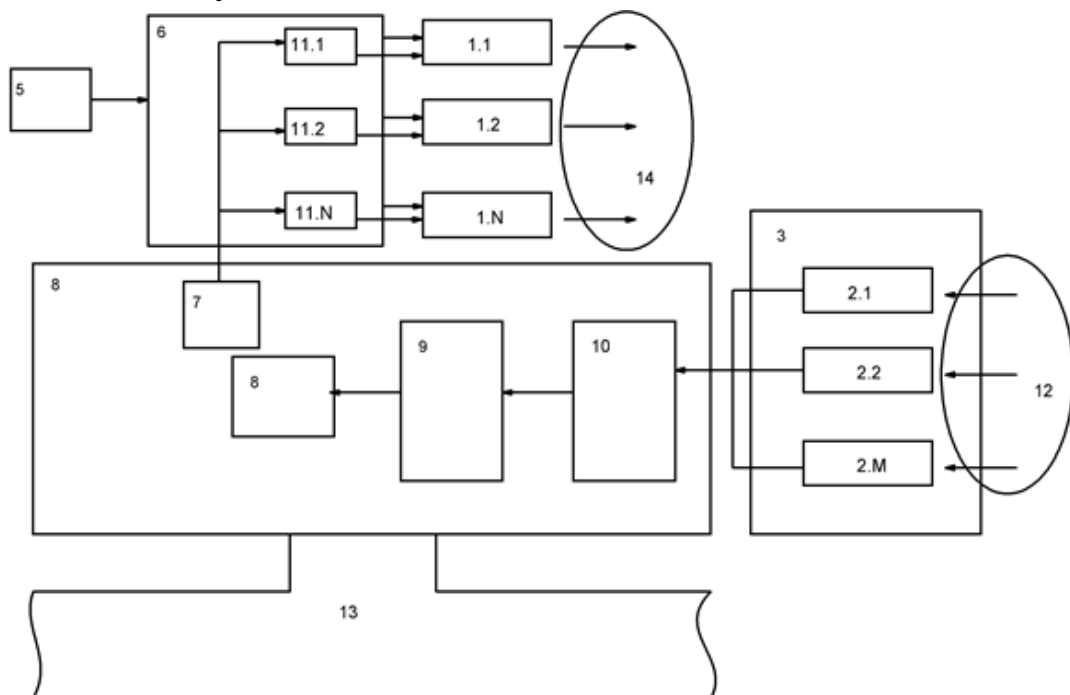
Для реалізації даної функції в прожектор локомотива залізничного транспорту введені модулі світлових випромінювачів, які виконують функції передавачів інформації, що використовують в якості середовища передачі інформації відкритий атмосферне канал, а на захисному склі освітлювального пристрою встановлюється набір фотоприймачів. У світловому потоці передавальних модулів практично не міститься спектра, до якого чутливі фотоприймачі, таким чином, паразитне засвічення прожектора від власної роботи відсутнє.

На рисунку 4.13 наведена схема роботи прожектора локомотива залізничного транспорту.

Блок управління створює керуючі сигнали на модуляторі, який створює пачки коротких імпульсів високої частоти на малопотужні ключі блоку живлення.

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен ключ управляє своїм передавальним модулем (зі своєю власною КСС), а саме частиною струму через нього. При цьому струм, яким керує ключ, малий у порівнянні з струмами робочих режимів модулів. Таким чином, ключ управляє відносно малою потужністю.



1 - 1... 1.N - передаючі модулі (де $N \geq 1$), 2 - 2.1 ... 2.M - інфрачервоні фотоприймачі (де $M \geq 1$), 3 - захисне скло прожектора локомотива, 4 - блок управління, 5 - блок ручного управління, 6 - блок живлення, 7 - модулятор, 8 - демодулятор, 9 - смуговий фільтр, 10 - інтегруючий підсилювач з обмежувачем, 11.1 ... 11.N - малопотужний ключ (де $N \geq 1$), 12 - прийняте випромінювання, 13 - лінія передачі інформації системи безпеки локомотива, 14 - передане випромінювання.

Рисунок 4.13 - Структурна схема пропонованого пристрою.

Крім обладнання на ПС необхідно мати стаціонарне обладнання відкритого атмосферного каналу біля колій яке здатне організувати канал передачі даних з ПС.

Вирішення цього завдання досягається тим, що на опори контактної мережі або на аналогічні пристрої (наприклад, для неелектрифікованих ділянок колії) встановлюються модулі прийому-передачі, що використовують в якості середовища передачі інформації відкритий атмосферний канал.

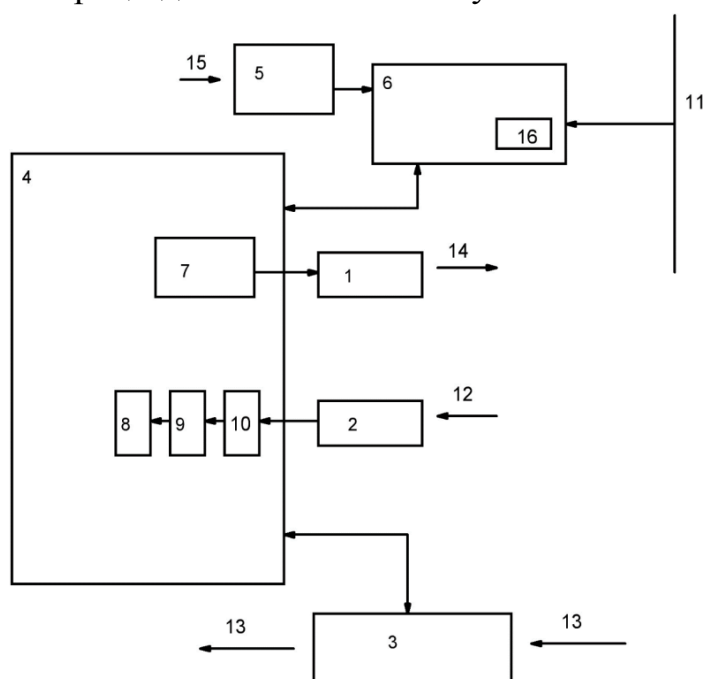
Сутність виробу полягає в тому, що пристрій має здатність підключатися до системи пристроїв СЦБ, приймати і передавати інформацію в систему пристроїв по протоколах передачі даних; фотоприймач здатний приймати сигнали видимого і інфрачервоного спектра; передавальний модуль складається з світлодіодів інфрачервоного спектра.

На рисунку 4.14 наведена структурна схема приймально-передавального

					Арк.
					93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

пристрою.

Фотоприймач, розташовується так, що світловий потік передавального модуля на нього не потрапляє, таким чином, паразитне засвічення пристрою від власної роботи відсутнє. Блок живлення отримує основне живлення від електричної мережі, в цьому режимі він забезпечує живленням всі приймальні та передавальні частини пристрою. У малоімовірному випадку обриву електричної мережі блок живлення переходить на резервне живлення від фотоелемента, який отримує енергію від сонячного випромінювання, або від акумулятора. Якщо сонячна енергія недоступна, в режимі резервного живлення пристрій відключає передавальний модуль, забезпечуючи живленням лазерний блок прийому-передачі і фотоприймач, які споживають відносно малу потужність, дозволяючи тим самим довгий час підтримувати працездатність лінії зв'язку.



1 - інфрачервоний передавальний модуль, 2 - фотоприймач, 3 - лазерний блок прийому-передачі, 4 - блок управління, 5 - фотоелемент, 6 - блок живлення, 7 - модулятор, 8 - демодулятор, 9 - смуговий фільтр, 10 - інтегруючий підсилювач з обмежувачем, 11 - електрична мережа, 12 - прийняте випромінювання, 13 - лазерне випромінювання, 14 - передане випромінювання, 15 - сонячне випромінювання, 16 - акумулятор.

Рисунок 4.14 - Структурна схема пропонованого пристрою

Однією з проблем практичного впровадження подібної системи є точна наводка приймача на передавач.

4.5 Висновки по розділу

1. Стандартний ламповий прожектор не забезпечує безпеки руху локомотива на кривих ділянках і засліплює зустрічну локомотивну бригаду.
2. Для підвищення безпеки руху локомотива на кривих ділянках необхідно використовувати прожектор зі складною КСС,
3. Для запобігання засліплення зустрічній бригади необхідно динамічно змінювати КСС прожектора, відключаючи окремі елементи вузькоградусної оптики, залишаючи максимально можливу освітленість простору попереду локомотива.
4. При реалізації системи необхідно забезпечити охолодження з урахуванням максимальної споживаної потужності.
5. Для ефективного управління зміною КСС необхідно використовувати інформацію, отриману від різних систем, встановлених на рухомому складі, в тому числі ЄКР в яку необхідно попередньо внести дані про горизонтальний профіль колії.
6. Використання АОЛЗ на залізниці стає принципово можливим при використанні технології прожектора з широким пучком світла.

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В результаті виконання магістерської роботи отримано наступне.

1. На основі розроблених оптичних моделей кабіни машиніста запропоновані системи світильників загального освітлення. Впровадження даних систем на електричному рухомому складі дозволить зменшити габарити кабіни машиніста і спростити спосіб установки лобового скла. Дані зміни дозволять знизити собівартість кабіни, не приводячи до порушення вимог безпеки по загальному висвітленню.

2. На основі аналізу існуючих підходів до проектування вузькоградусної оптики з урахуванням специфіки галузі застосування запропонована методика розрахунку вузькоградусної системи прожектора локомотива. На основі даної методики були спроектовані модульні світлодіодні прожектори, що дозволять знизити споживання енергії від бортової мережі локомотива в три з половиною раз і підвищити надійність системи освітлення за рахунок підтримання робочого стану і можливості безпечно продовжити рух при відмові окремих елементів прожектора.

3. Показано, що стандартний локомотивний прожектор не забезпечує безпеку руху в нічний час. Для підвищення безпеки розроблений світлодіодний прожектор з широкою діаграмою спрямованості і система управління для нього. Впровадження даної системи дозволяє рівномірно висвітлювати шлях в нічний час при будь-якій кривизні шляху, не засліплюючи зустрічну локомотивну бригаду.

4. На основі аналізу можливих напрямків впровадження виконаної наукової роботи, запропонований принцип реалізації АОЛЗ в якості додаткового каналу зв'язку між рухомим поїздом і підлоговим обладнанням залізниць.

5. Розроблені системи світильників загального освітлення і прожекторів на основі світлодіодів запропоновано впровадити на кілька серій електровозів і тепловозів, що застосовуються на залізницях загального і не загального користування.

						Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р, Київ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p#Text>.

2 Стратегічний план розвитку залізничного транспорту на період до 2030 року. Наказ Міністерства інфраструктури України 21 грудня 2015 № 547, <https://mtu.gov.ua/files/Стратегія%20Наказ%20547.pdf>

3 Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України. Наказ Міністерства Інфраструктури України від 01.04.2011 N 27. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11#Text>

4 Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми "Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі". Постанова Кабінету Міністрів України від 9 липня 2014 р. № 632. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/632-2008-p#Text>

5 А.Н. Пихтин. Квантовая и оптическая электроника / А.Н. Пихтин. - СПб. Из-во Абрис. - 2012. - 656 с.

6 Берг А, Светодиоды / А. Берг, П. Дин. – М. : Из-во Мир. - 1979. – 686 с.

7 Коган Л.М. Полупроводниковые излучающие диоды / Л.М. Коган. – М. : Из-во Энергоатомиздат. - 1983. – 206 с.

8 Шуберт Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт. пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. – М.: Из-во ФИЗМАТЛИТ. 2008. – 496 с. – ISBN 978-5-9221-0851-5.

9 ЛИСМА: лампы накаливания прожекторные ПЖ [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lisma-guprm.ru/index.php?id=51&type=2&viewid=1114>, свободный. – Загл. с экрана.

10 Иванов А.П. Электрические источники света / А.П. Иванов. –Л.: Из-во Госэнергоиздат. – 1955. - 288 с.

11 Тищенко Г.А. Осветительные установки / Г А. Тищенко.- М.: Из-во Высш. шк. 1984 - 247с.

12 Пратт В.К. Лазерные системы связи / В. К. Пратт. - М.: Из-во Связь. 1972. – 232 с.

13 Давиденко Ю.И. Современная схемотехника в освещении/ Давиденко Ю.И. – СПб.: Из-во Наука и техника. - 2008. –320 с.

14 Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г. М. Кнорринг. Л. : Из-во Энергия. - 1973 – 200 с.

15 Балашов О.П. Электрическое освещение / О.П. Балашов, Н.А. Парфенова.

						Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

/ . – Рубцовск. : Из-во Рубцовский индустриальный институт. - 2012. – 200 с.

16 Трёмбач В.В. Световые приборы / В. В, Трёмбач. – М.: Из-во Высш.шк. 1990 – 463 с.

17 Заказнов Н. П. Теория оптических систем / Н. П. Заказнов, С. И, Кирюшин, В. И, Кузичев. – М.: Из-во Машиностроение. - 1992 – 448 с.

18 Ландсберг Г. С. Оптика / Г. С, Ландсберг. – М.: Из-во ФИЗМАТЛИТ. - 2003 – 848 с. ISBN 5-9221-0314-8.

19 Методы компьютерной обработки изображений. Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Из-во ФИЗМАТЛИТ. - 2003. – 784 с. ISBN: 5-9221-0270-2.

						Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А - Перелік мультимедійних демонстраційних матеріалів

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

Додаток А – Перелік мультимедійних демонстраційних матеріалів

- 1 Прожектор з лампою розжарювання
- 2 Порівняння спектрів лампи розжарювання і світлодіодів
- 3 Тривалість роботи світлодіодів в залежності від температури кристала
- 4 Загальне освітлення кабіни машиніста
- 5 Конструкція світильника для кабіни машиніста
- 6 Аналіз геометрії лінз для прожектора
- 7 Розрахунок втрат світлового потоку
- 8 Аналіз питань безпеки при руху локомотива в кривих
- 9 Діаграма направленості сили світла прожекторів
- 10 Засвітлення колії і рухомого складу
- 11 Пропозиції розробки оптичної системи прожектора
- 12 Структурна схема запропонованого прожектора

						Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		