

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Приладів і систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.Г. Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Автоматизований пристрій для детектування диму»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-61

Глуценко Михайло Олександрович \_\_\_\_\_

Керівник:

Старший викладач, кандидат технічних наук,

Богдан Галина Анатоліївна \_\_\_\_\_

Консультант з розробки оптичної системи:

Старший викладач, кандидат технічних наук,

Муравйов Олександр Володимирович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки електричної системи:

Доцент, кандидат технічних наук,

Баженов Віктор Григорович \_\_\_\_\_

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПК61.610500.000 ПЗ	Пояснювальна записка	68	
3	A1	ПК61.610500.000 СК	Складальний кресленик	1	
4	A2	ПК61.610500.002	Деталювання	1	
5	A3	ПК61.610500.003	Деталювання	1	
6	A3	ПК61.610500.004	Деталювання	1	
7	A3	ПК61.610500.000 ЕЗ	Електрична принципова	1	
8	A3	ПК61.610500.000 Е4	Електрична функціональна	1	
9	A2	ПК61.610500.000 ЛЗ	Оптична схема	1	

				<b>ДП 6105. 00.000.00</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Глущенко			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Богдан				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61	
Н/контр.						
Зав.каф.	Протасов					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Автоматизований пристрій для детектування  
димув»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**

**Приладів і систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – **151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.А. Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект студенту

**Глушценку Михайлу Олександровичу**

1. Тема проекту «Тема», керівник проекту Богдан Галина Анатоліївна, старший викладач, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від від «25» травня 2020 р. № 1180-с
2. Термін подання студентом проекту 13.06.2020
3. Вихідні дані до проекту: площа приміщення  $10\text{м}^2$ , висота приміщення 3м, об'єм  $30\text{м}^3$   $\lambda_1=475\text{nm}$ ,  $\lambda_1=850\text{nm}$ , легкий монтаж, розрізняти різні види диму, робота від автономного джерела живлення, легка очистка камери диму, зручна заміна батарейок, робота в системі розумного дому.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, аналітичний огляд, оптична частина, електронна частина, конструкторська частина
5. Перелік графічного матеріалу: схема оптична, функціональна схема, схема електрична принципова, складальний кресленик, деталювання.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка оптичної системи	Муравйов О.В.	20.04.2020	30.05.2020
Розробка електричної схеми	Баженов В.Г.	20.04.2020	30.05.2020

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Формулювання завдання проекту	15.03.2020	
2.	Проведення аналітичного огляду	13.04.2020	
3.	Розрахунки	20.04.2020	
4.	Підбір та розрахунок компонентів	25.04.2020	
5.	Розробка креслеників	02.06.2020	
6.			
7.			
8.			

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Глуценко М.О.

(прізвище, ім'я по-батькові)

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Богдан Г.А.

(прізвище, ім'я по-батькові)

« \_\_\_\_ »

\_\_\_\_\_ 2020 р.

## **Анотація**

Представлено проект Михайла Глуценка на тему «Автоматизований пристрій для детектування диму».

Даний дипломний проект освітнього рівня бакалавр пов'язаний із розробкою автоматизованого пристрою для детектування диму в житлових приміщеннях та для оцінки його концентрації. У дипломному проекті було поєднано в одну автоматизовану систему вже існуючі технології і проведено дослідження розсіювання Мі.

Завданням дипломного проекту є розробка та розрахунок параметрів автоматизованого пристрою для детектування диму, складання схеми електричної принципової, складання схеми функціональної та опис принципу роботи схеми.

Автор пояснює, що для проекту були обрані детектори інфрачервоного і синього випромінювання з оглядом на відносну спектральну характеристику випромінювачів. Зазначено, що були здійснені розробка оптичної схеми, моделювання розсіювання в програмі «Земакс», а також моделювання електричного тракту для роботи з детектором інфрачервоного випромінювання та з джерелом струму.

Далі автор надає інформацію щодо розрахунків електричного тракту та середнього діаметра частинки за теорією розсіювання Мі.

Загальний розгляд проекту підтримується графічною частиною, що охоплює схему електричної принципової і складальне креслення, а також функціональну схему. Також були розроблені і представлені креслення оптичної схеми.

Ключові слова: теорія Мі, відносна спектральна характеристика, пристрій детектування, двоканальна технологія.

## **Annotation**

Mykhailo Hlushchenko's project on the topic «Automated device for smoke detection» is presented.

This bachelor's degree project is concerned with the development of the automated device for smoke detection in living areas and the estimation of smoke concentration. Existing technologies were combined into one automated system and the research on the Mie scattering was conducted in the diploma project.

The purpose of the project is to develop and calculate the parameters of the automated device for smoke detection, draw the electric circuit diagram, draw the functional diagram, and describe the principle of the circuit operation process.

The author explains that infrared and blue radiation detectors were selected for the project taking into account the relative spectral characteristics of the emitters. It was noted that the optical scheme was developed and the Mie scattering was designed in the Zemax program, as well as the electrical path for operating with the infrared radiation detector and current source.

Then the author provides the information on the calculations of the electric path and the calculation of the average particle diameter according to the Mie theory of scattering.

The general consideration is supported by the graphic part of the diploma project, including the optical scheme, the electric scheme of the circuit diagram, and the functional diagram. Drawings of the optical scheme details are developed and presented as well.

Key words: Mie theory of scattering, relative spectral characteristics, detection device, two-channel technology.

## Зміст

	Стор.
Вступ.....	5
<b>1. РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....</b>	<b>7</b>
1.1. Класифікація по можливості повторного включення.....	7
1.2. Класифікація за типом передачі сигналів.....	8
1.3. Порівняльна характеристика детекторів.....	8
1.4. Особливості сповіщувачів.....	11
1.4.1. Оптична реєстрація продуктів горіння.....	13
1.4.2. Мі-теорія.....	14
1.4.3. Залежність рівня інтенсивності розсіяння від обраної точки спостереження і кольору світло-випромінювачів.....	18
1.4.4. Особливості детектування частинок диму.....	19
1.4.5. Двохвильова технологія реєстрації.....	21
1.5. Висновок до розділу I.....	27
<b>2. РОЗДІЛ II. РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ.....</b>	<b>28</b>
2.1. Підбір джерела світла.....	30
2.2. Підбір приймача випромінювання.....	32
2.3. Моделювання роботи світловода в програмі zemax.....	33
2.4. Моделювання оптичної реєстрації частинок в програмі zemax.....	35
2.5. Висновок до розділу II.....	39
<b>3. РОЗДІЛ III. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАКТУ.....</b>	<b>40</b>
3.1. Підбір мікроконтролера.....	41
3.2. Розрахунок джерела струму.....	42
3.3. Розрахунок транзисторного ключа.....	46
3.4. Розрахунок трансімпедансного підсилювача.....	47
3.5. Висновок до розділу III.....	50
<b>4. РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЕТЕКТОРА.....</b>	<b>51</b>
4.1. Розробка камери диму.....	51
4.2. Розробка конструкції корпусу.....	55
4.3. Висновок до розділу IV.....	57
<b>Висновок.....</b>	<b>58</b>

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Глуценко			<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
Перевір.		Богдан			3	68	
Реценз.					<b>ПСНК КПІ</b>		
Н. Контр.					<b>гр. ПК-61</b>		
Затверд.		Богдан					



Список використаної літератури .....	59
Додаток А .....	61
Додаток Б.....	64

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Глущенко			<b>АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ</b>	<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
Перевір.		Богдан					4	68
Реценз.						<b>ПСНК КПІ гр. ПК-61</b>		
Н. Контр.								
Затверд.		Богдан						

## Вступ

Науково-технічний прогрес не стоїть на місці, і з деяким часом людині загрожують все нові і нові техногенні небезпеки. Однією з таких небезпек є пожежа яка може нанести нещінного удару, для запобігання пожежі на даний час існують системи пожежної сигналізації. Вони в даний час використовуються практично на всіх підприємствах, установах і об'єктах. Включають в себе технічні засоби виявлення факту появи ознак пожежі (пожежні сповіщувачі), технічні засоби збору та обробки інформації (прилади приймально-контрольні) і технічні засоби оповіщення (світлові і звукові сповіщувачі).

Пожежний сповіщувач – технічний засіб, який встановлюють безпосередньо на об'єкті, що застосовується для передачі тривожного сповіщення про пожежу на пожежний приймально-контрольний прилад і/або оповіщення і відображення інформації про виявлення загорянь. Найбільш часто сповіщувачі передають інформацію про свій стан в шлейф пожежного приймально-контрольного приладу. Сповіщувач виявляє пожежу шляхом контролю змін фізичних параметрів навколишнього середовища, викликаних пожежею.

Система пожежної сигналізації – сукупність технічних засобів, призначених для виявлення пожежі, обробки, передачі в заданому вигляді повідомлення про пожежу, спеціальної інформації та видачі команд на включення автоматичних установок пожежогасіння і включення виконавчих установок систем проти димного захисту, технологічного та інженерного обладнання, а також інших пристроїв протипожежного захисту.

Системи пожежної сигналізації, оповіщення та управління евакуацією людей при пожежі повинні бути встановлені на об'єктах, де вплив небезпечних факторів пожежі може призвести до травматизму та загибелі людей.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

В даній роботі ми проаналізуємо системи пожежної сигналізації зважимо їхні плюси і мінуси. на основі накоплених даних розробимо власний пожежний сповіщувач, який буде дешевшим і більш чутливим, до різних типів диму і полум'я.

За основними характеристиками наш прилад буде відноситися до оптико-електричних пожежних сповіщувачі з підвищеним рівнем реагування, і класифікацією диму.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						6
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

## РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

На даний час прилади і системи пожежної безпеки є не від'ємною часткою кожної будівлі, приміщення. Причинами пожеж та вибухів є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону "Про пожежну безпеку".

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

### 1.1. Класифікація по можливості повторного включення

Автоматичні пожежні сповіщувачі за можливістю їх повторного включення після спрацювання діляться на наступні типи:

- поворотні сповіщувачі з можливістю повторного включення - сповіщувачі, які зі стану пожежної тривоги можуть без заміни будь-яких вузлів знову повернутися в стан контролю, якщо тільки зникли чинники, що призвели до їх спрацювання. Вони підрозділяються на типи:
  - сповіщувачі з автоматичним повторним включенням - сповіщувачі, які після спрацювання самостійно перемикаються в стан контролю;
  - сповіщувачі з дистанційним повторним включенням - сповіщувачі, які за допомогою дистанційно подається команди можуть бути переведені в стан контролю;
  - сповіщувачі з ручним включенням - сповіщувачі, які за допомогою ручного перемикання на самому сповіщувачі можуть бути переведені в стан контролю;
- сповіщувачі зі змінними елементами - сповіщувачі, які після спрацювання можуть бути переведені в стан контролю лише шляхом заміни деяких елементів;

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- сповіщувачі без можливості повторного включення (без замічних елементів) - сповіщувачі, які після спрацювання більше не можуть бути переведені в стан контролю [1].

## 1.2. Класифікація за типом передачі сигналів

Автоматичні пожежні сповіщувачі за типом передачі сигналів діляться:

- дворежимні сповіщувачі з одним виходом для передачі сигналу як про відсутність так і наявності ознак пожежі;
- багато режимні сповіщувачі з одним виходом для передачі обмеженої кількості (більше двох) типів сигналів про стан спокою, пожежної тривоги або інших можливих станів;
- аналогові сповіщувачі, які призначені для передачі сигналу про величину значення контрольованого ними ознаки пожежі, або аналогового / цифрового сигналу, і який не є прямим сигналом пожежної тривоги [1].

## 1.3. Порівняльна характеристика детекторів

Для аналізу наявних детекторів ми складемо порівняльну таблицю пожежних сповіщувач (таблиця 1). Ми будемо класифікувати наші детектори за такими параметрами як класифікація за повторним включенням, класифікація за типом передачі сигналу, фізичний процес детектування.

Таблиця 1

Назва	Класифікація за повторним включенням	Класифікація за типом передачі сигналу	Фізичний процес детектування

Тепловий сповіщувач	без повторного включення	дворежимний	детектує температуру
Димовий сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує випромінювання
Лінійний сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує інтенсивність
Аспіраційний сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує розсіянні
Автономний сповіщувач	з повторним включенням	багаторежимний	детектує концентрації
Іонізований сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує іонізацію
Радіоізотопний сповіщувач	без повторного включення	дворежимний	детектує іонізацію
Електроіндукційний сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує струм
Сповіщувач полум'я	з повторним включенням	дворежимний	детектує електромагнітне випромінювання
Газовий сповіщувач	без повторного включення	дворежимний	детектує газ
Проточний сповіщувач	з повторним включенням	дворежимний	детектує потік

**Тепловий пожежний сповіщувач** конструкції XIX століття. Складається з двох дротів а і b, які з'єднуються між собою шайбами сс з матеріалу, що не проводить електрики. Збоку приладу влаштована трубочка d з капсулем е, наповненим ртуттю і закривається знизу пластиною з воску. При підвищенні

температури віск плавиться, ртуть виливається в прилад і встановлюється контакт між двома дротами, внаслідок чого з'являється сигнал.

**Димові сповіщувачі** - сповіщувачі, що реагують на продукти горіння, здатні впливати на поглинаючу або розсіюють здатність випромінювання в інфрачервоному, ультрафіолетовому або видимому діапазонах спектру. Димові сповіщувачі можуть бути точковими, лінійними, аспіраційними і автономними.

**Лінійний двокомпонентний сповіщувач** складається з блоку приймача і блоку випромінювача (або одного блоку приймача-випромінювача і відбивача) реагує на появу диму між блоком приймача і випромінювача.

**Аспіраційний сповіщувач** використовує примусовий відбір повітря з захищається обсягу з моніторингом ультрачутлива лазерними димовими сповіщувачами забезпечує надранньої виявлення критичної ситуації. Аспіраційні димові пожежні сповіщувачі дозволяють захистити об'єкти, в яких неможливо безпосередньо розмістити пожежний сповіщувач [1].

**Автономний пожежний сповіщувач**, який реагує на певний рівень концентрації аерозольних продуктів горіння (піролізу) речовин і матеріалів і, можливо, інших факторів пожежі, в корпусі якого конструктивно об'єднане автономне джерело живлення і всі компоненти, необхідні для виявлення пожежі і безпосереднього оповіщення про нього. Автономний сповіщувач також є точковим.

**Іонізаційних сповіщувач** заснований на реєстрації змін іонізаційного струму, що виникають в результаті впливу на нього продуктів горіння. Іонізаційні сповіщувачі поділяються на радіоізотопні і електроіндукційні.

**Радіоізотопний сповіщувач** - це димовий пожежний сповіщувач, який спрацьовує внаслідок впливу продуктів горіння на іонізаційний струм внутрішньої робочої камери сповіщувача. Принцип дії радіоізотопного сповіщувача заснований на іонізації повітря камери при опроміненні його радіоактивною речовиною.

**Електроіндукційний сповіщувач** – це сповіщувач в якого аерозольні частинки засмоктуються з навколишнього середовища в циліндричну трубку

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						10
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

(газохід) за допомогою малогабаритного електричного насоса і потрапляють в зарядну камеру. Тут, під впливом уніполярного коронного розряду, частинки набувають об'ємний електричний заряд і, рухаючись далі по газоходу, потрапляють в вимірювальну камеру, де наводять на її вимірювальному електроді електричний сигнал, пропорційний об'ємному заряду частинок і, отже, їх концентрації.

**Сповіщувач полум'я** - сповіщувач, який реагує на електромагнітне випромінювання полум'я або тліючого вогнища. [2, 3]

**Газовий сповіщувач** - сповіщувач, який реагує на гази, що виділяються при тлінні або горінні матеріалів. Газові сповіщувачі можуть реагувати на оксид вуглецю (вуглекислий або чадний газ), вуглеводневі сполуки.

**Проточні пожежні сповіщувачі** застосовують для виявлення факторів пожежі в результаті аналізу середовища, що поширюється по вентиляційних каналах витяжної вентиляції. Сповіщувачі слід встановлювати відповідно до інструкції по експлуатації цих сповіщувачів та рекомендаціями виробника, узгодженими з уповноваженими організаціями (мають дозвіл на вид діяльності).

Проаналізувавши данні по кожному датчику ми прийшли висновку що будемо робити оптичний детектор диму, який працює на реєстрації бокового і прямого розсіювання світла. І матиме два оптичних випромінювачі.

#### 1.4. Особливості сповіщувачів

Хотілося б розглянути деякі особливості самих димових сповіщувачів в випадку виявлення типів диму. Прийнято вважати, що дерево і бавовна при горінні утворюють білий дим, а пінополіуретан і вироби з ПВХ чорний, а самі димові сповіщувачі, що використовують оптичні засоби виявлення, реагують по-різному на дим різних кольорів. Це пов'язують з різними рівнями оптичної щільності різних типів диму від різних горючих матеріалів [4] [5].

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Зазвичай вважається, що вогонь, що горить відкритим полум'ям, утворює дим, здебільшого складається з частинок субмікронного діаметра, на відміну від тліючого вогню, що утворює частинки набагато більшого розміру. Чи можуть сучасні димові сповіщувачі мати до них рівномірну чутливість і при цьому виключати реагування на пил, пари та аерозолі.

Сам факт горіння різних матеріалів характеризується не зміною оптичної щільності середовища, як це багато хто вважає, а наявністю певної концентрації продуктів горіння у вигляді частинок вуглецю. Зміна ж оптичної щільності середовища при горінні - це вже наслідок наявності деякої концентрації цих частинок.

Таким чином, основним завданням при виявленні наявності загоряння є оцінка концентрації частинок диму.

Іонізаційні точкові пожежні сповіщувачі спочатку за своїм принципом роботи визначали саме досягнення граничної концентрації частинок в контрольованих приміщеннях. Застосування прийшли їм на зміну димових точкових оптико-електронних пожежних сповіщувачів засноване на спробі пов'язати зміна концентрації продуктів горіння з оптичною щільністю середовища під час горіння будь-яких матеріалів. Безумовно, взаємозв'язок між концентрацією продуктів горіння і оптичною щільністю середовища є, але для кожного виду пожежної навантаження вона різна, що і показав багаторічний досвід використання сповіщувачів даного типу. визначається ж взаємозв'язок саме розмірами самих частинок продуктів горіння [5].

Характеристики диму залежать від складу горючого матеріалу, режиму горіння (тління або горіння відкритим полум'ям) і ступеня змішування з навколишнім повітрям (розведення). Ці фактори визначають такі характеристики продуктів горіння, як розмір частинок, що утворюються, розподіл, склад, концентрація, коефіцієнти заломлення, поглинання і відображення і ін.

Перенесення диму від вогню до місця розташування сповіщувачів здійснюється султанами і стельовими струминними потоками. В процесі перенесення диму відбувається зміна його характеристик, зокрема, розмірів його частинок, в основному через осадження і агломерації (спіканні). Відомо, що при охолодженні диму більш дрібні частинки агломеруються, тобто з плином часу утворюють більші частки («старіння» диму), що в свою чергу веде до зниження їх концентрації. [3]

Внаслідок цього оптико-електронні сповіщувачі повинні мати рівномірну чутливість до різних розмірів частинок диму.

Немаловажне питання перспективного застосування оптико-електронних пожежних сповіщувачів зв'язаний з можливістю реагування на дим, що виділяється при горінні деревини.

Наявність в пожежних сповіщувачів механізму селекції виявлених часток по їх розмірам дозволяє значною мірою стабілізувати їх роботу при самій мінімальній концентрації продуктів горіння. Це, в свою чергу, надає можливість підняти реальну чутливість сповіщувача, тим самим реалізувавши принцип раннього виявлення при одночасному зниженні ймовірності помилкових спрацьовувань.

#### 1.4.1. Оптична реєстрація продуктів горіння

Щоб зрозуміти, з якими продуктами горіння працюють пожежні сповіщувачі, в першу чергу потрібно згадати усереднені розміри частинок диму ( $D$ ), що утворюються при горінні різних матеріалів:

- при горінні деревини (ТП1) виділяються частинки розмірів 0,1 мкм;
- при тлінні бавовняного шнура (ТП3) виділяються частинки розміром 0,15 мкм;
- при горінні пінополіуретану (ТП4) і Н-гептан (ТП5) виділяються частинки розміром 0,2 мкм;

- при тлінні деревини (ТП2) формуються частинки розміром 0,45 мкм.

Відразу ж тут можна буде пояснити визначення основних величин, які будуть в подальшому використовуватися.

Під інтенсивністю розсіювання  $I$  розуміється квадрат речової амплітуди електричного вектора. Від значення рівня інтенсивності безпосередньо залежить рівень сигналу на виході фотоприймача сповіщувача.

Основною характеристикою для визначення розподілу інтенсивності розсіювання  $I$  є відносний параметр  $q = \frac{\pi D}{\lambda}$ , що характеризує співвідношення розмірів частинок до довжини хвилі світло випромінювача.

Точка спостереження  $\Theta$  - це кут, виміряний між напрямком падаючого світла і місцем розміщення фотоприймача. При розміщенні фотоприймача в зоні прямого променя  $\Theta = 0^\circ$

Спочатку спробу пояснити, чому небо синє, а хмари білі, зробив лорд Релей (John Williams Strutt) в опублікованій роботі в 1871 р, присвяченій когерентного розсіювання світла, названому релеєвським розсіювання [6].

Для частинок, розміри яких перевищують порядку десятків довжин хвиль, діють закони оптики, засновані вже на зонах А. Ж. Френеля, який і отримав свою популярність в більшій мірі саме за теорію дифракції. До речі, саме йому ми зобов'язані описом того, як радіохвилі можуть огинати перешкоди [7].

Для опису дифракції на частинках, відмінних від сфер, іноді застосовується теорія І. Фраунгофера. Але навіть при всій її універсальності і підвищеної точності одержуваних результатів, всі подальші теоретичні дослідження в області малих частинок засновані все-таки, як це не дивно, на роботах Мі.

#### 1.4.2. Мі-теорія

Теорія розсіювання світлової хвилі частками малих розмірів детально розроблена Густавом Мі (G. Mie) в 1908 року та отримала назву Мі-Теорія – теорія

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

розсіювання (дифракції) плоскої електромагнітної хвилі на однорідній сфері довільного розміру. Сама теорія МІ створена на базі електромагнітної теорії Д. К. Максвелла (1831-1879 рр.), В основі якої лежить його відома система рівнянь.

Плоску електромагнітну хвилю, опромінюють сферу, якою в даному випадку виступає частка диму, можна уявити як суперпозицію сферичних хвиль, що виходять з центру сфери. Кожна з цих елементарних хвиль поляризує сферу і збуджує в ній вторинну хвилю, яка випромінюється сферою. Ці вторинні хвилі називаються парціальними хвилями Ми, саме вони і утворюють розсіяне світло.

З даної теорії випливає, що за винятком випадків з великою провідністю або діелектричної проникністю інтенсивність розсіяного світла  $I$  досягає максимуму як в напрямку, що збігається з напрямком падаючого світла  $\Theta = 0^\circ$ , так і в зворотному напрямку  $\Theta = 180^\circ$  і має мінімум в площині симетрії  $\Theta = 90^\circ$ . При збільшенні радіуса сфери частинок спостерігаються відхилення від симетрії, причому в напрямку падіння розсіюється більше світла, ніж у зворотному напрямку [8].

Це явище ще часто називають ефектом Мі. При подальшому збільшенні розміру частинок практично весь розсіяне світло буде поширюватися в напрямку, близькому до  $\Theta = 0^\circ$ . Однак якщо радіус сфери дуже великий у порівнянні з довжиною хвилі, то, як впливає з геометричної оптики, велика частина падаючого світла відбивається.

Хоча рішення, запропоноване Мі, отримано для дифракції на одній сфері, воно може бути застосовано також до дифракції на будь-якій кількості сфер за умови, що всі вони мають однаковий діаметр і однаковий склад, розподілені хаотично і знаходяться один від одного на відстанях, великих в порівнянні з довжиною хвилі.

Треба відзначити, що частинки диму за формою досить далекі від сфери, і одні, що утворилися в результаті горіння з високою температурою, мають дещо іншу форму і питому електропровідність, ніж інші, що утворилися в результаті тліючого вогнища з низькою температурою і які взагалі більше схоже на витягнуті

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

диполі, що мають низьку питому електропровідність, що, природно, впливає на точність кінцевих результатів.

Необхідно відзначити, що природу розсіювання частинками диму на підставі теорії МІ дійсно доводиться досліджувати в досить наближеною формі без урахування коефіцієнтів поглинання і відображення, які на практиці можуть вносити серйозну корекцію в кінцеві результати.

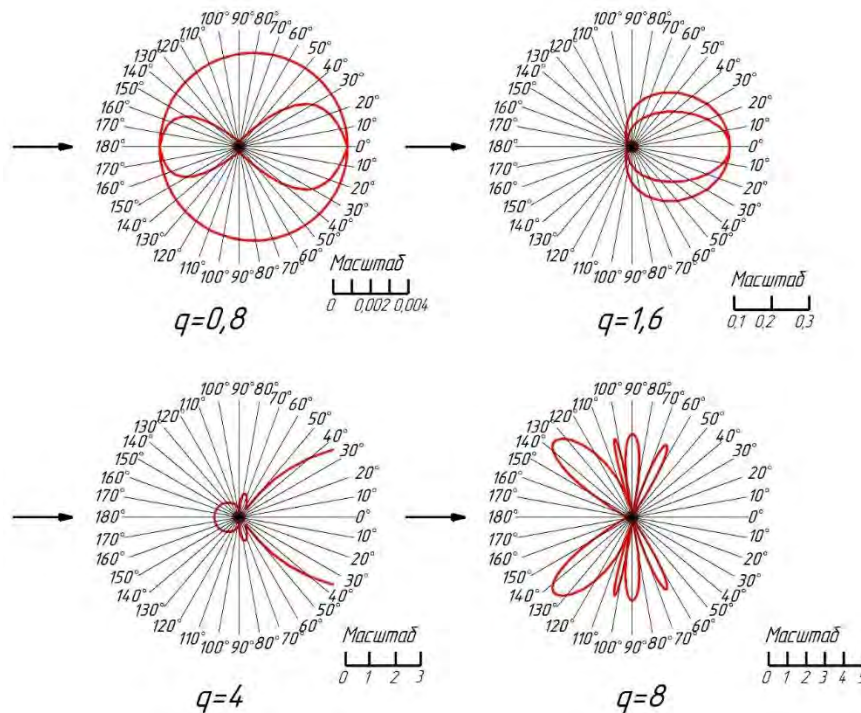


Рис. 1 – Розсіяння МІ при різних значеннях

На (рис. 1)представлено розподіл інтенсивності для різних значень  $q$  для діелектричних сфер з показником заломлення близько 1,25. Саме на ці діаграми в більшості своїй посилаються при описі процесів при оцінці концентрації тих чи інших частинок малих розмірів.

З малюнка стає видно, чим більше відношення діаметра частинок до довжини хвилі світло випромінювача, тобто зі зростанням параметра  $q$ , тим більше енергії розсіюється вперед по ходу руху електромагнітної хвилі. Процес зсуву

інтенсивності вперед по ходу руху електромагнітної хвилі стає яскраво вираженим вже для значень  $q$  більше 0,8.

Характерною особливістю при збільшенні радіусу частинок є поява бічних випромінювань вторинних хвиль, приблизно так само, як у спрямованих антен. Поява такого ряду максимумів і мінімумів при великих значеннях  $q$  добре пояснюється теорією Гюйгенса-Кірхгофа. Їх місцезнаходження на полярних діаграмах в обох площинах і амплітуда залежить від конкретних значень розмірів та форми кожної окремо взятої частинки. При наявності в обсязі цих частинок більше однієї ці максимуми і мінімуми випромінювання усереднюються в межах  $20-35^\circ$  тілесного кута. Тобто в реальних умовах аналізу концентрації частинок цих викидів в значеннях інтенсивності розсіювання можна і не виявити, в тому числі і за рахунок деякого відмінності між собою розмірів частинок [9].

Характерними точками спостереження при вивченні даного процесу є (рис. 2): зона прямого розсіювання ( $\Theta = 0^\circ$ ), зона бічного розсіювання ( $\Theta = 90^\circ$ ) і зона зворотного розсіювання ( $\Theta = 180^\circ$ ), зона прямого променя до уваги не приймається.

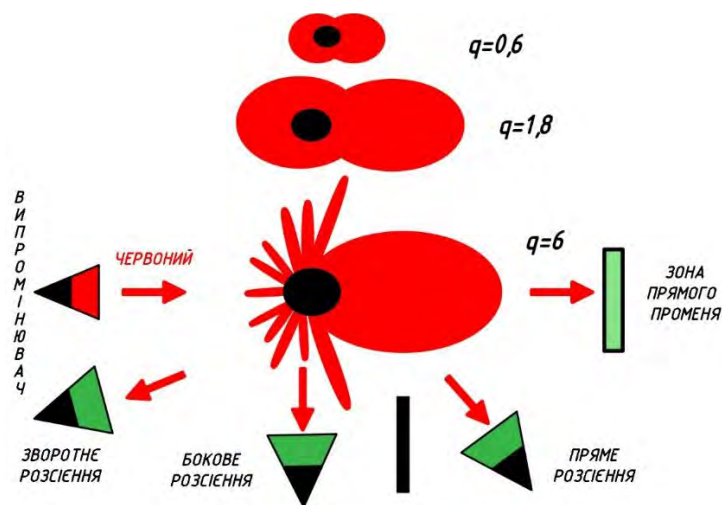


Рис. 2 – Характерні точки спостереження і розподіл інтенсивності розсіювання в залежності від параметра  $q$

### 1.4.3. Залежність рівня інтенсивності розсіяння від обраної точки спостереження і кольору світло-випромінювачів

Подивимося, як буде змінюватися параметр  $q$ , а відповідно до нього і спрямованість розсіювання відбитої енергії для різних розмірів частинок.

Виконаємо цю операцію (рис. 3) для двох крайніх кольорів видимого діапазону хвиль - червоного ( $q_{\text{червн.}}$ ) і синього ( $q_{\text{синій}}$ ). Довжина хвилі червоного кольору становить 0,75 мкм, а синього 0,45 мкм.

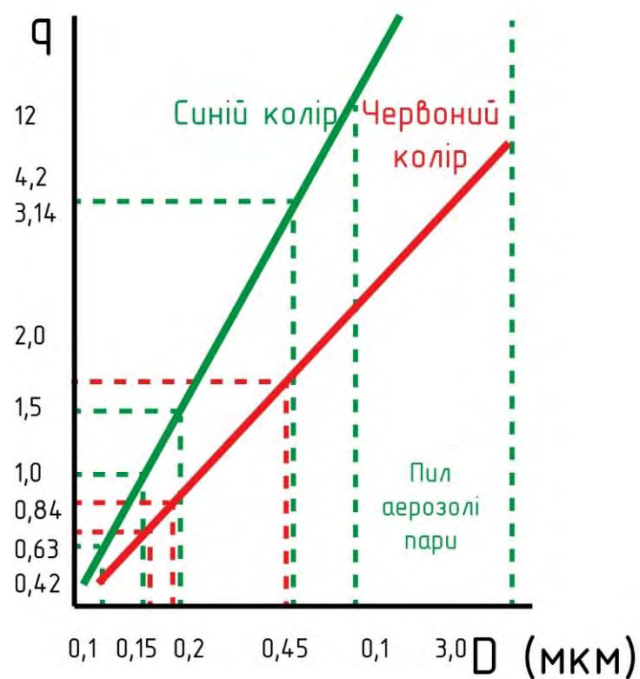


Рис. 3 – Залежність параметра  $q$  від розмірів частинок для червоного і синього кольору

Таким чином, в разі використання червоного випромінювача, вже починаючи з частинок з розмірами понад 0,2 мкм ( $q = 0,8$ ), маємо підвищену інтенсивність розсіювання  $I$  у напрямку ходу руху електромагнітної хвилі, в той час як для частинок з розмірами менш 0,2 мкм це зміщення ще мало виражено (рис. 1).

У разі використання синього випромінювача маємо ще більш виражене зміщення розсіювання вперед і вже для всіх розмірів в установленому діапазоні, але і нерівномірність інтенсивності розсіювання  $\Delta I$  стає більш однорідною для всіх цих розмірів частинок (рис. 4).

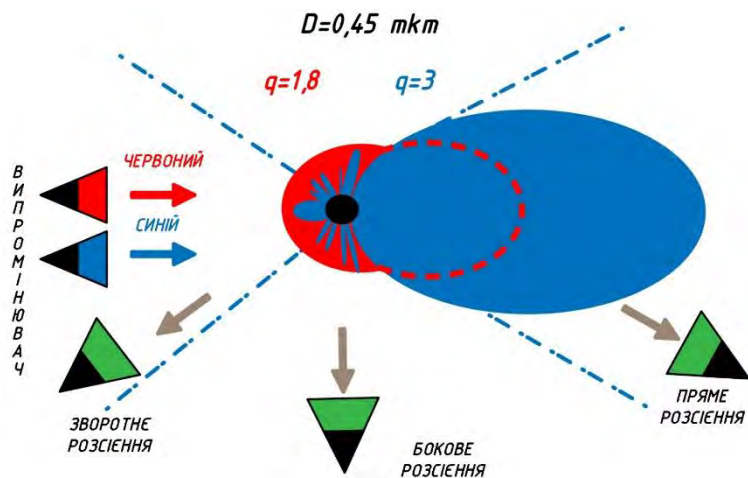


Рис. 4 – Селекція частинок за розмірами в залежності від інтенсивності розсіювання світла з різною довжиною хвилі

#### 1.4.4. Особливості детектування частинок диму

У пожежних сповіщувачах для їх захисту від частинок, які не є продуктами горіння, потрібно крім оцінки концентрації частинок диму провести селекцію частинок диму від частинок пилу, аерозолів і різних парів.

Частинки пилу, парів і аерозолів мають геометричні розміри від 1 до 10 мкм і як було показано раніше, навіть при малій концентрації створюють досить велику інтенсивність розсіювання, що призводить до підвищеної ймовірності помилкових спрацьовувань. Саме з цієї причини переважна більшість існуючих оптико електронних сповіщувачів неможливо використовувати в квартирах на кухнях, коли при смаженні на сковороді утворюється сильний висхідний потік парів води і масла, що має розміри, що перевершують частки диму. Вони навіть при мінімальній

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.610500.000 ПЗ**

Арк.

19



концентрації викликають негайне спрацьовування встановлених в цих приміщеннях сповіщувачів.

Така ж ситуація з будівельною і іншою пилом. Не маючи можливості за рахунок теплових потоків, що виникають тільки при горінні, досягти зони вимірювання в оптичній системі сповіщувача, вони можуть туди випадково потрапляти за рахунок невеликих завихрень повітряних потоків. При цьому, також як і у випадку з парами, досить їх мінімальну кількість, щоб рівень інтенсивності розсіювання перевищив поріг спрацьовування.

Практично всі точкові оптико-електронні сповіщувачі мають оптичну систему зі зміщенням приймача оптичного сигналу або в горизонтальній площині (рис. 5) або у вертикальній. Можливо зміщення приймача і одночасно в обох площинах. На принцип роботи і об'являючу здатність оптопарі це жодним чином не впливає. Більшою мірою це має значення для аеродинамічного опору повітряному потоку, що заходить в оптичну систему, що певною мірою також впливає на чутливість сповіщувача. Зокрема, при горизонтальному зміщенні елементів оптопарі в місцях розміщення світло випромінювача і фотоприймача з'являються зони з підвищеним аеродинамічним опором. Для захисту від прямого попадання випромінювання від світло випромінювача на фотоприймач використовуються всякого роду шторки. Ось вони то і впливають на це аеродинамічний опір оптичної системи [10].

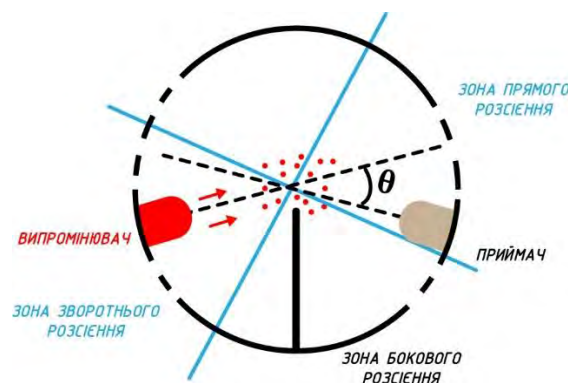


Рис. 5 – Зсув приймача оптичної системи в горизонтальній площині

Для підвищення чутливості при випробуваннях в установці «Димовий канал», де дуже часто замість тліючого бавовняного шнура використовується аерозоль з розміром частинок 0,5-1,0 мкм, частина вітчизняних виробників зміщують приймач оптичного сигналу в зону прямого розсіювання впритул до зони прямого променя. У порівнянні з оцінкою рівня інтенсивності розсіювання в зоні бокового розсіювання це дає підвищення чутливості по даному тесту в 10-15 разів. Але одночасно з цим в кілька десятків разів підвищується чутливість до пилу, аерозолів і парам і падає чутливість до димам з малими розмірами частинок. Тобто сповіщувач налаштовується на виконання однієї конкретної задачі -вимір чутливості в установці «Димовий канал». Саме цим можна пояснити явище, коли сповіщувач показує непогані результати в установці «Димовий канал» і негативні результати при вогневих випробуваннях (тестових пожежах). Тут, правда, необхідно ще врахувати вплив при вогневих випробуваннях аеродинамічних характеристик сповіщувача, які теж можуть бути не на належному рівні.

#### **1.4.5. Двохвильова технологія реєстрації**

З метою зниження нерівномірності чутливості до димам, які виділяються при горінні різних матеріалів, а в свою чергу, і для різних тестових пожеж виробники пожежних сповіщувачів йдуть різними шляхами.

Роботи в області вдосконалення промислових вимірювачів концентрації частинок і колоїдних розчинів не могли не позначитися на розвитку оптико-електронних димових пожежних сповіщувачів. Догляд на інші значення довжини хвилі випромінювачів, застосування, зокрема, випромінювачів зеленого кольору, збільшення коефіцієнта поглинання навколишніх елементів додало розвитку оптико-електронних пожежних сповіщувачів новий поштовх.

Наступним етапом у розвитку оптико-електронних пожежних сповіщувачів після робіт «Носікі» щодо зміщення точки спостереження в зону бічного

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						21
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

розсіювання стало використання випромінювачів синього кольору, відразу, минаючи проміжний зелений, який вже широко використовувався в промислових вимірі концентрації.

У 1990 р винахідник Судзі Накамура з корпорації Nichia Chemical Industries (Японія) розробив досить дешевий світлодіод з синім кольором випромінювання. У 1993 р було освоєно його серійне виробництво.

Впровадження світлодіодів з синім кольором випромінювання в пожежні сповіщувачі дозволило вирішити деякі проблеми. Тут слід зазначити, що саме по собі застосування випромінювача синього кольору замість червоного без додаткових заходів проблему реагування оптико-електронних димових пожежних з мовників на пил, аерозолі та пар не знімає, що було підтверджено в перших розробках Esser.

Спочатку ця фірма позиціонувала сповіщувач нової серії IQ8Quand OT<sup>blue</sup>. Цей комбінований сповіщувач має крім оптоелектронного ще термодифференціальний канал. Оптоелектронний канал був реалізований на світло-випромінювачів синього кольору. Завдяки цьому даний сповіщувач отримав досить рівномірну характеристику до тестових пожеж [11].

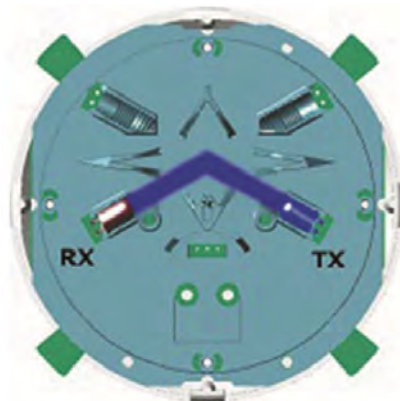


Рис. 6 – Розташування світло випромінювача і фотоприймача в сповіщувачі IQ8Quand OT<sup>blue</sup>

Маючи точку спостереження з ( $\Theta = 60^\circ$  (рис. 1), він дозволив в достатній мірі лінеаризувати залежність чутливості від розмірів частинок. Але повністю усунути підвищену чутливість до пилу і іншим паразитних продуктам це до кінця не допомогло. Тоді з'явилася можливість пов'язати в алгоритмі обробки значення чутливості до малих розмірах частинок і швидкості наростання температури шляхом використання значень термодифференціального каналу. Тут використана характерна залежність зменшення розмірів частинок диму при збільшенні температури середовища, що викликається інтенсивним горінням пожежної навантаження.

Наступним етапом було впровадження в дану технологію другого випромінювача з червоним кольором. В сповіщувачі за технологією O2T (подвійний оптичний і теплової) червоний світло випромінювач зайняв місце так, щоб фотоприймач перебував в зоні бокового розсіювання в точці з  $\Theta = 60^\circ$ , а синій випромінювач встановлений, щоб той же фотоприймач перебував в точці спостереження  $\Theta = 120^\circ$ . Обидві ці точки спостереження забезпечують достатню рівномірність для всіх типів тестових пожеж. Більш того, цим вдалося значно знизити чутливість до часток з великими розмірами. Використовуючи значення з термодифференціального каналу для коригування чутливості, з'явилася можливість отримати сповіщувач, який можна порівняти за своїми характеристиками іонізаційному.

Але до цього часу двохвильова технологія була вже достатньо вивчена і впроваджена в серійне виробництво силами Nittan Group. Ця корпорація була створена в 1954 році і має свої підрозділи і виробничі потужності відразу в декількох країнах: Японії, Китаї, Швеції, Бахреїні та Великобританії. Зокрема, європейський підрозділ Nittan Europe було створено в 1972 році.

І ось цією корпорацією у 2003 році вдалося реалізувати, а в 2005 році налагодити серійний випуск димових пожежних оптикоелектронних сповіщувачів двохвильовою технології.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

У цій серії Двохвильовий сповіщувачів присутні адресноаналоговий EV-DP (Dual Optical Detector) і неадресними EV-CDP (conventional).

У чому суть двохвильовий технології. Розробники Nittan Group виявили нерівномірність зміни інтенсивності розсіювання для червоного і синього випромінювача в області розмірів частинок 1,0 мкм [2, 3, 4]. Таким чином, вони прийшли до висновку, що коли інтенсивність в зоні прямого розсіювання синього кольору перестає перевершувати інтенсивність розсіювання червоного кольору в районі частинок з розмірами порядку 1,0 мкм (рис. 7), то можна прийняти рішення про виявлення частинок, що не є продуктами горіння. Обидва світло випромінювача розміщуються практично в безпосередній близькості один від одного, і для їх розрізнення вони працюють поперемінно. У сповіщувачах EV-DP і EVC-DP застосована схема розміщення світло випромінювача і фотоприймача з вертикальним зміщенням між осями (рис. 6) в зоні практично прямого розсіювання з точкою спостереження  $\theta = 30^\circ$ .

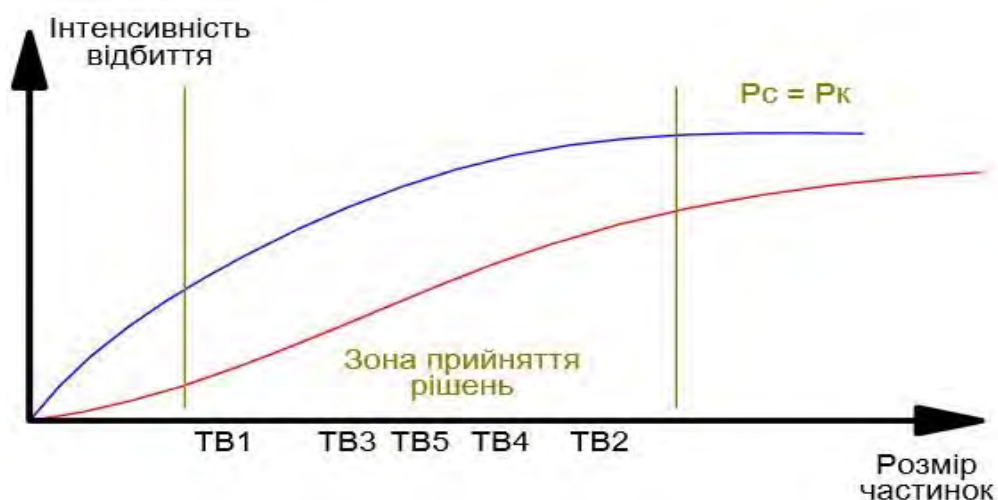


Рис. 7 – Залежність рівня інтенсивності розсіювання для випромінювачів червоного і синього кольору світла

Відправним значенням порога прийняття рішення про присутність сторонніх продуктів для такого розміщення світло- і фотодіодів розробники визнали

співвідношення рівнів інтенсивності розсіювання для цих двох кольорів (синій / червоний), рівне 1,4. Сам аналіз про наявність частинок і їх кількості в оптичній камері проводиться по синьому каналу, але при досягненні значення рівня в інфрачервоному каналі по відношенню до синього, рівного або більше 0,7 ( $1: 1,4 = 0,7$ ), приймається рішення про виявлення частинок, які не є продуктами горіння.

Крім цього, розташування фотоприймача в зоні прямого розсіювання дозволяє отримати сигнал з набагато більшим рівнем, ніж в зоні бокового розсіювання, що знижує необхідність в додаткових заходах щодо забезпечення електромагнітної захищеності і дозволяє трохи знизити споживаний світло випромінювачів струм.

І якщо в сповіщувачах з одним світло випромінювачем для підвищення рівномірності чутливості до різних димам розробники намагаються змістити фотоприймач в зону бічного розсіювання, що породжує нові додаткові проблеми, про які я писав у другій частині даного матеріалу, то при двохвильовий технології ці проблеми просто відсутні.

Блокування реагування сповіщувача на частинки, що мають розміри більше, ніж частки диму, дозволяє вбудований в сповіщувач алгоритм непрямой двохвильовий оцінки розміру часток. Ця технологія дозволяє відсікти вплив паразитних факторів на об'являючу здатність сповіщувача і ставить його в один ряд з іонізаційними сповіщувачами. Більш того, наявність механізму селекції частинок за їх розмірами дозволило збільшити реальну чутливість безпосередньо до продуктів горіння без побоювання підвищення ймовірності помилкових спрацьовувань від частинок, які не є продуктами горіння.

Розробники німецької фірми Bosch пішли приблизно тим же шляхом, як і Nittan Group. Дана технологія отримала у них назву «Dual Ray».

Випускаються за цією технологією сповіщувачі FAP DO 420 широко відомі у всьому світі.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Табл. 2 – Параметри диму, що утворений горінням різних матеріалів

<i>Параметри</i>	<b>ТВ2</b>	<b>ТВ4</b>	<b>ТВ5</b>	<b>ТВ3</b>	<b>ТВ1</b>
<i>часток диму</i>	<i>Тління дерева</i>	<i>Горіння пінополіуретану</i>	<i>Горіння Н-гептану</i>	<i>Тління бавовняних шнурів</i>	<i>Горіння дерева</i>
<i>Розмір D, мкм</i>	0,45	0,2	0,18	0,15	0,1
<i>Енергія P, кВт</i>	2,3	30	150	32	56

Але на відміну від Nittan Group ці сповіщувачі випускаються ще й у комбінованому виконанні - FAP DOT 420 з термодиференціальним каналом, FAP DOTC 420 з термодиференціальним і газовим каналами, які можуть коригувати роботу оптичного каналу в залежності від умов розвитку пожежі. Тут використовується наступна особливість: при тлінні формуються частинки великих розмірів і виділяється велика кількість CO, а при інтенсивному горінні формуються частинки менших розмірів і відбувається виділення великої кількості тепла. Значить, такий сповіщувач вже може підлаштовувати оптичний канал для виявлення частинок тих чи інших розмірів. Для корекції обнаружуючої здатності по оптичному каналу при наявності цих додаткових каналів використовується технологія, названа виробником [12]

ISP (Intelligent Signal Processing). При цьому в документації зазначається, що максимальна ефективність цих двох додаткових каналів може бути досягнута тільки при відповідному для цих каналів відстані між точками контролю в приміщеннях.

## 1.5.Висновок до розділу I

В даному розділі ми розглянули види детекторів диму, проаналізували їхні плюси і мінуси. Зробили глибокий аналітичний огляд принципів і методів детектування. По цим даним ми вибрали види і методи на яких ми будемо будувати принцип роботи нашого автоматизованого пристрою для детектування диму.

Переглянувши всі методи ми вибрали оптичний метод детектування який в себе включає два принципи, селекції частинок.

Ми провели аналіз видів тестових пожарів. Тобто речовини на які в першу чергу наш детектор повинен спрацьовувати. Також розглянули фізику процесу оптичної селекції частинок.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						27
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		



## РОЗДІЛ II. РОЗРОБКА ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Для реалізації оптичної системи ми використовуємо два світлодіоди один інфрачервоний, а другий синій. І два однакових випромінювача, які сприймають випромінювання від вибраних світлодіодів.

Ми аналізуємо відбите випромінювання від інфрачервоного і синього світлодіодів під кутом 30 градусів до горизонту, і 180 градусів від випромінювача. Другим приймачем ми реєструємо відбите випромінювання під кутом 30 градусів до горизонту, і 90 градусів від випромінювача.

Під час розробки перед нами виникло ряд проблем. Перша проблема це сприймання випромінювання приймачами фонового засвічування з навколишнього середовища. Другою є проблема що під час відсутності малодисперсних частинок в повітрі (тобто відсутність диму) приймачі будуть сприймати випромінювання від самих випромінювачів. Третьою проблемою є це спрямованість випромінювання з двох діодів по одній осі, тобто нам потрібно щоб випромінювання з інфрачервоного світлодіода концентрувалося в туж точку що й випромінювання від зеленого світлодіода. Тому що ми будемо опромінювати мілкодисперсні частинки не одночасно, а з певною періодичністю, тобто для початку інфрачервоний потім зелений і навпаки.

Першу і другу проблеми ми будемо вирішувати конструкційно в наступному розділі. А зараз зосередимося на третій проблемі. Для вирішування проблеми ми розглядали декілька варіантів.

Перший варіант це створити оптичну систему на основі інтерференційний фільтр (дихроїчне дзеркало).

Інтерференційний фільтр – відбиває одну і пропускає іншу частину спектру падаючого випромінювання завдяки явищу багатопроменевої інтерференції в тонких діелектричних плівках. Інтерференційний фільтр – називається дихроїчним фільтром за принципом дії.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

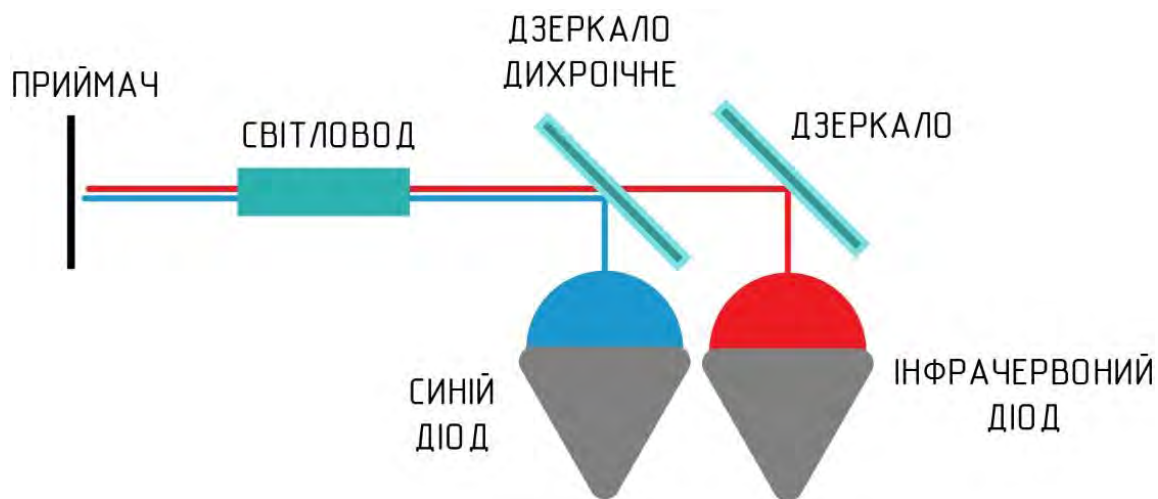


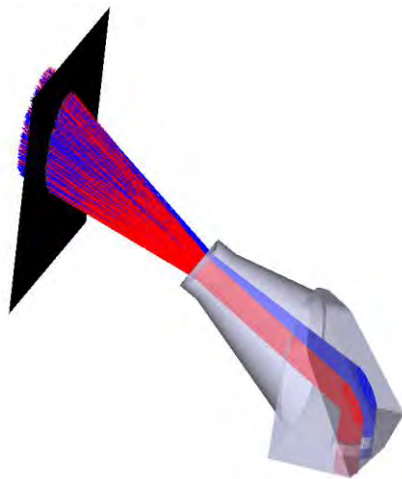
Рис. 8 – Оптична схема з дихроїчним дзеркалом

Як ми можемо бачити на малюнку це доволі складна, дорога і габаритна оптична систем. Найдороше в цій системі це дихроїчне дзеркало яке потрібно буде виготовити на замовлення для певної довжини хвилі, що не є технологічно. І ключовим фактором який зупинив нас взяти цю систему це габаритні розміри які були вкрай великі.

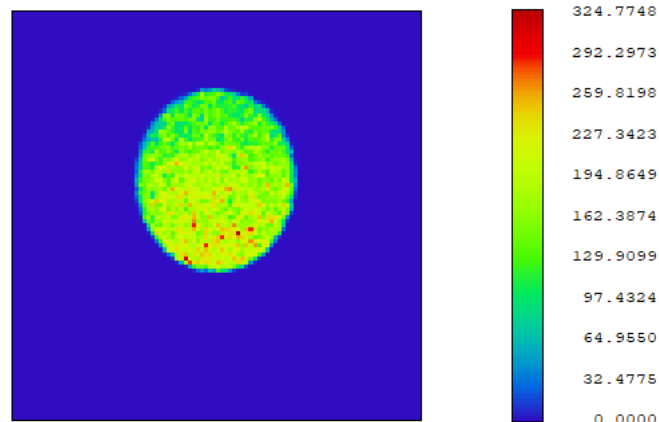
Аналізуючи далі способи фокусування, ми дійшли до системи з простих дзеркал які фокусуватимуть з різних точок випромінювання і умовну точку сприйняття. Але ця система виявилася теж габаритною.

Третім варіантом на якому ми врешті решт зупинилися, це використання спеціально розробленого світловода який би концентрував випромінювання в одній точці за допомогою повного відбивання світла на поділі двох середовищ.

Повне відбивання –це коли світло поширюється з середовища, оптично більш густого в менш густе, може спостерігатися явище повного відбивання світла. Даний змодельований світловод і його енергетичне п'ятно в точці розташування частинок диму.



a)



Detector Image: Incoherent Irradiance

b)

Рис. 9– a)-3D модель світловода; b)-енергетичне п'ятно

## 2.1. Підбір джерела світла

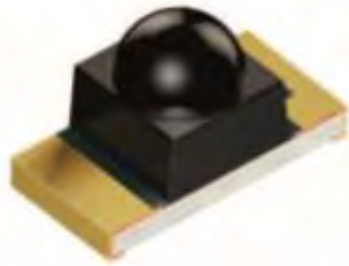
Для детектора диму потрібно два випромінювача з різними довжинами хвиль. Під час підбору діодів ми розглянули декілька варіантів випромінювачів. При підборі ми звертали свою увагу на такі параметри: тілесний пів-кут випромінювання, довжина хвилі випромінювання, робочий струм, робоча напруга, габаритні розміри.

Ми зосередилися на двох видах джерел випромінювання це світлодіоди і лазери. І ті і ті мають як плюси так і мінуси. Основною перешкодою яка стримала вибрати лазер це відсутність лазерів які випромінюють інфрачервону та синю довжину хвилі. Томи ми при виборі зосередилися на світлодіодна.

Інфрачервоний світлодіод ми взяли SFH 4059 який випромінює довжину хвилі 860nm, тілесний пів-кут дорівнює  $10^\circ$ , робочий струм рівний 30mA, і робоча напруга 2,4V.

Синій світлодіод ми взяли LB E63C-T2AA-35-24 який випромінює довжину хвилі 475nm, тілесний пів-кут дорівнює  $20^\circ$ , робочий струм рівний 70mA, і робоча напруга 2,9V.

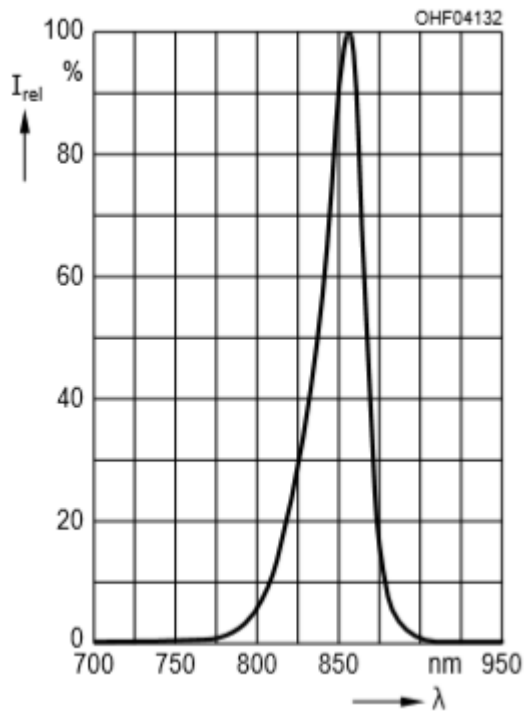
Розбіжність в пів-кутах ми компенсуємо світловодом.



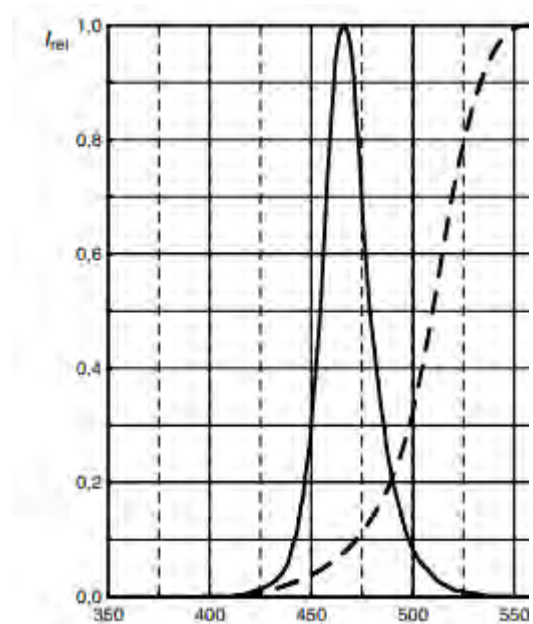
a)



b)



c)



d)

Рис. 10 – а)-інфрачервоний світлодіод; б) синій світлодіод; с) – відносна спектральна чутливість інфрачервоного випромінювача; д) – відносна спектральна чутливість синього випромінювача

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.610500.000 ПЗ**

Арк.

31

## 2.2. Підбір приймача випромінювання

На даний час існує багато видів приймачів випромінювання широкого спектру. А саме фототранзистори, фотодіоди, фоторезистори, квантові підсилювачі. Такі приймачі світла є селективними, їхня чутливість залежить від величини енергії окремих фотонів, що ними поглинаються.

**Фототранзистор** - оптоелектронний напівпровідниковий прилад, варіант біполярного транзистора. Відрізняється від звичайного біполярного транзистора тим, що напівпровідниковий базовий шар приладу доступний для впливу зовнішнього оптичного опромінення [13].

**Фотодіод** - приймач оптичного випромінювання, який перетворює потрапляюче на його фоточутливу ділянку світло в електричний заряд за рахунок процесів в р-п-переході.

**Фотодіод**, робота якого заснована на фотогальванічному ефекті (поділ електронів і дірок в р- і п-області, за рахунок чого утворюється заряд і ЕДС), називається сонячним елементом. Крім р-п фотодіодів, існують і р-і-п фотодіоди, в яких між шарами р і п знаходиться шар нелегованого напівпровідника і. р-п- і р-і-п-фотодіоди тільки перетворюють світло в електричний струм, але не підсилюють його, на відміну від лавинних фотодіодів і фототранзисторів [14].

**Фоторезистор** - напівпровідниковий прилад, який змінює величину свого опору при опроміненні світлом. Він не має р-п переходу, тому має однаково провідність незалежно від напрямку протікання струму [15].

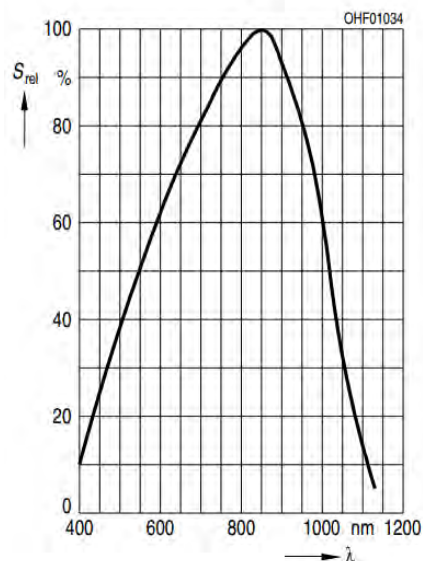
Проаналізувавши дані приймачів ми зупинилися на фотодіоді, тому що він має найменше падіння напруги, на аноді і катоді при збільшенні освітленості струм збільшується пропорційно, має малий зворотній струм. І дві ключові особливості, це чутливість до дуже малих потоків світла і широку чутливість до різних довжин хвиль а саме до інфрачервоної і синьої.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Ми вибрали фотодіод SFH 213. Він має наступні характеристики а саме: чутливий діапазон від 400nm до 1100nm, пів-кут приймання  $10^\circ$ , падіння напруги на діоді рівна 1.3V, темний струм 1nA (рис. 11).



a)



b)

Рис. 11 – а) зображення діода; б) відносна спектральна чутливість

Так як є плюси використання даного діода, так і є мінуси. А саме це чутливість до фонові засвітки з навколишнього середовища, складне монтування на плату [16].

### 2.3. Моделювання роботи світловода в програмі zemax

Для теоретичних розрахунків і подальшого моделювання детектора диму, нам потрібно перевірити в теорії роботу спроможність оптичної схеми. Для даного дослідження ми будемо використовувати програму zemax.

Для початку нашого моделювання в програмі SolidWorks ми створили приблизну модель світловода спираючись на кількість діодів габаритного розміру і кута інфрачервоного і синього випромінювання хвиль.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

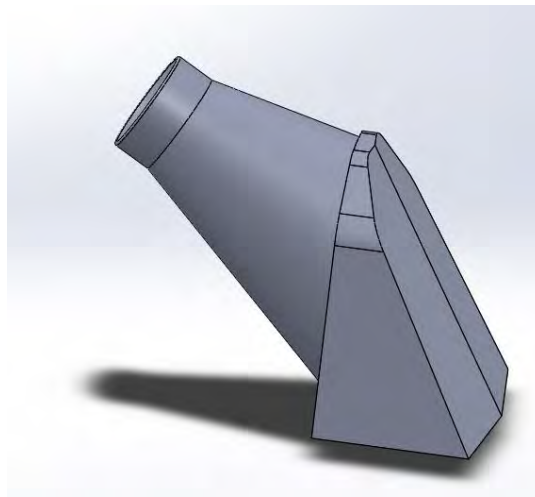


Рис. 12 – Модель світловода

Після моделювання, в програмі zemax ми переходимо в режим NSM який дає змогу загрузити об'єкти і опромінювати їх світлом.

Загружаємо модель і виставляємо по координатах наш світловод. Створюємо два джерела випромінювання. В налаштуваннях в кожному джерелі випромінювання ми виставляємо такі параметри як довжина хвилі, розмір випромінювача енергію яку видаватиме наше джерело, кількість променів для розрахунку, кількість променів для відображення, координати розташування. Після встановлюємо детектор випромінювання в точку яка є центром детектора і в якій будуть частинки диму відбивати світло на приймач (рис. 9). В налаштуваннях детектора встановлюємо наступні параметри: форму детектора, розміри форми детектора, координати розташування, кількість пікселів по двом осям, поверхню яка буде сприймати випромінювання(їх існує тільки дві) колір детектора при відображенні.

На цьому етапі ми позиціонуємо наші джерела і світловод один відносно одного і підбираємо наклони граней для правильного фокусування випромінювання яке виходить з світловода.

Далі проводимо розрахунок натиснувши кнопку Rtc. Яка відкриє вікно для налаштувань розрахунків.

Коли розрахунки в програмі здійснені ми відкривши вікно побачимо п'ятно розсіяння випромінювання і кількість енергії в відсотках яка потрапила на наш встановлений детектор (рис. 9).

Коли ми спроектували і налаштували наш світловод, і данні з детектора нас влаштовують ми можемо вважати що світловод є спроектованим.

#### **2.4. Моделювання оптичної реєстрації частинок в програмі zetaх**

Наш пристрій для детектування диму працює на подвійній технології детектування, тобто на його борту одночасно проходить реєстрація двома приймачами випромінювання. Це дає змогу оцінити більше видів диму, краще детектувати частинки які не є предметами горіння, тобто пар пиль і так далі.

Одна теорія заснована на розсіюванні Мі яка оцінює нерівномірність розсіяння різних розмірів частинок. Друга ж націлена на не рівномірному поглинанні різних довжин хвиль різними продуктами горіння, тобто частинками диму різних предметів.

Спроектувавши наш світловод ми змодельуємо потрапляння відбитого випромінювання на наші детектори. Для того щоб змодельувати розсіяння Мі для частинок диму ми використаємо для цього програму zetaх.

Для початку в таблиці об'єктів ми створюємо все необхідні об'єкти для моделювання. А саме: світловод (ми його спроектували в попередніх частинах), випромінювачі, приймач, частинка диму.

Далі ми налаштуємо наші частинки пилу. Перш за все не потрібно вказувати матеріал частинок. Для спрощення наших розрахунків ми приймемо нашу частинку за умовну сферу яка знаходиться в повітрі. Так як частинки які ми досліджуємо є дуже малими і ми беремо середню модель між цими формами.



Особливістю даного моделювання це є використання DLL моделі Мі. Яка дає можливість вказати всі параметри для моделювання (рис. 13).

Model:	DLL Defined Scattering	
Mean Path:	10	Angle: 180
DLL:	Mie.dll	
Particle index	1.59	Size (microns) 2.515
Density (cm <sup>-3</sup> )	1000000000	Min. thresh. 1e-009
Transmission	1	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
	0	0
Wavelength Shift:		
Previous Object    Next Object    View Object		

Рис. 13 – Параметри для розсіювання Мі

Згідно нашої конструкції ми розташували і провели виміри. Так як для моделювання потрібні значні ресурси комп'ютера, ми змодельовали розсіяння однієї частинки пилу.

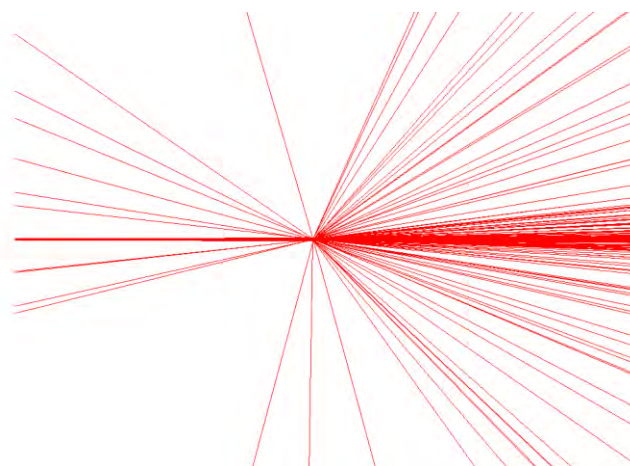


Рис. 14 – Розсіяння Мі однієї частинки

По даним які ми отримали при моделюванні з однієї частинки ми можемо судити про те що наша конструкція автоматизованого приладу для детектування диму працює. Як ми бачимо розсіяння яке ми отримали є прямим тому що більшість променів які виходять з частинок розсіюються діаметрально протилежно точці входу променів.

Одним з основних наслідків теорії МІ є те, що за співвідношенням рівнів інтенсивності розсіювання в різних точках спостереження завжди можна обчислити розміри частинок, що утворюють це розсіювання.

Маючи значення сигналів від двох фотоприймачів, один з яких знаходиться в зоні прямого розсіювання  $U_{п.р.}$ , а інший в зоні бокового розсіювання  $U_{б.р.}$ , з урахуванням експериментально отриманого коригуючого коефіцієнта  $K_{ТН}$ , можна визначати усереднені розміри виявлених часток  $d_{ч}$ :

$$d_{ч} = K_{ТН} \cdot \left( \frac{U_{п.р.}}{U_{б.р.}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Наявність в наведеному вираженні квадратного кореня викликано тим, що значення рівня інтенсивності розсіювання прямо пов'язане з площею сфер частинок, а не їх діаметром. Отримавши усереднені розміри виявлених часток  $d_{ч}$  і знаючи значення рівня сигналу від фотоприймача, розташованого в зоні прямого розсіювання  $U_{п.р.}$ , куди направлена велика частина відбитої енергії, можна отримати умовне значення концентрації продуктів горіння  $Y_{вит}$ :

$$Y_{вит} = \frac{U_{п.р.}}{d_{ч}} \quad (2)$$

У підсумку, маючи такі величини, як умовне значення концентрації продуктів горіння  $Y_{вит}$ , розміри виявлених часток  $d_{ч}$  і значення сигналу від фотоприймача, розташованого в зоні прямого розсіювання  $U_{п.р.}$ , можна з достатньою точністю прийняти рішення про досягнення граничних величин продуктів горіння для всіх

типів диму з не меншою вірогідністю, ніж це робиться в іонізаційних извещателях. Також таке рішення дозволяє повністю виключити спрацьовування сповіщувача на частинки з розмірами, що перевищують 1 мкм, але які не є продуктами горіння, що навіть в іонізаційних сповіщувачах зробити неможливо.

В результаті даний принцип дозволяє звичайний граничний сповіщувач перетворити в пристрій селективного характеру з захистом від паразитних продуктів і за своїми можливостями значно перевершує іонізаційні сповіщувачі.

Наявність двох не корельованих каналів обробки в сповіщувачах дозволяє вирішити проблему не тільки помилкових спрацьовувань при наявності в оптичній системі сповіщувача пилу або аерозолів, але і підвищити захищеність від електромагнітних завад. Також може бути вирішене питання поступового запилення лінз випромінювачів і фотоприймача і навіть поступового старіння самого випромінювача, тому що саме рішення про наявність продуктів горіння формується вже не стільки за абсолютним рівнем інтенсивності розсіювання в одному з каналів, скільки засновано на порівнянні цих рівнів в обох каналах. Цьому сприяє і те, що факти старіння і запилення впливають однаково на обидва канали та можуть взаємно компенсуватися.

Друга технологія для якої ми встановили два світлодіоди в яких спектральний діапазон різний, тобто рознесені по спектру. Основний принцип за яким ми реєструємо розміри частинок двох хвилевою технологією це те що різні по розміру частинки поглинають і розсіюють різні частинки хвиль по різному. Проаналізуємо це докладніше.

Відправним значенням порога прийняття рішення про присутність сторонніх продуктів для прямого розміщення світло і фотодіодів розробники визнали співвідношення рівнів інтенсивності розсіювання для цих двох кольорів (синій / червоний), рівне 1,4. Сам аналіз про наявність частинок і їх кількості в оптичній камері проводиться по синьому каналу, але при досягненні значення рівня в

інфрачервоному каналі по відношенню до синього, рівного або більше 0,7 ( $1: 1,4 = 0,7$ ), приймається рішення про виявлення частинок, які не є продуктами горіння.

Крім цього, розташування фотоприймача в зоні прямого розсіювання дозволяє отримати сигнал з набагато більшим рівнем, ніж в зоні бокового розсіювання, що знижує необхідність в додаткових заходах щодо забезпечення електромагнітної захищеності і дозволяє трохи знизити споживаний світло випромінювачів струм.

## 2.5. Висновок до розділу II

В даному розділі ми розробили оптичну систему для автоматизованого пристрою для детектування диму. Для підтвердження своїх досліджень ми змоделювали частини системи в програмі zemax.

Підібрали елементи випромінювання інфрачервоного і синього спектру. На основі підібраних випромінювачів ми взяли приймач випромінювання. І співставили відносну спектральну чутливість.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						39
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

### РОЗДІЛ III. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАКТУ

Розробку схеми автоматизованого приладу для детектування диму ми почнемо з функціональної схеми. Проаналізувавши детектори світових брендів і не тільки, проаналізувавши їхні структурні схеми ми створили власну схему (рис. 15).

Де:

1. Елементи живлення, 2 батарейки CR123-а
2. Стабілізатор напруги
3. Елемент живлення 5V
4. Стабілізатор струму
5. Стабілізатор струму
6. Світлодіод синій
7. Світлодіод червоний
8. Фотоприймач 1
9. Фотоприймач 2
10. Підсилювач 1
11. Підсилювач 2
12. Процесор
13. Ключ
14. Програмактор
15. Індикація

Особливість нашої схеми полягає в тому що ми можемо контролювати кожним блоком окремо незалежно один від одного, будувати різні режими роботи і корегувати їхню поведінку, проводити автокалібровку, житися одночасно від різних джерел живлення, тобто так як в нас стоїть стабілізатор напруги який може працювати від 4 до 12 вольт, і діодна розв'язка яка, через яку підключається подвійне живлення.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

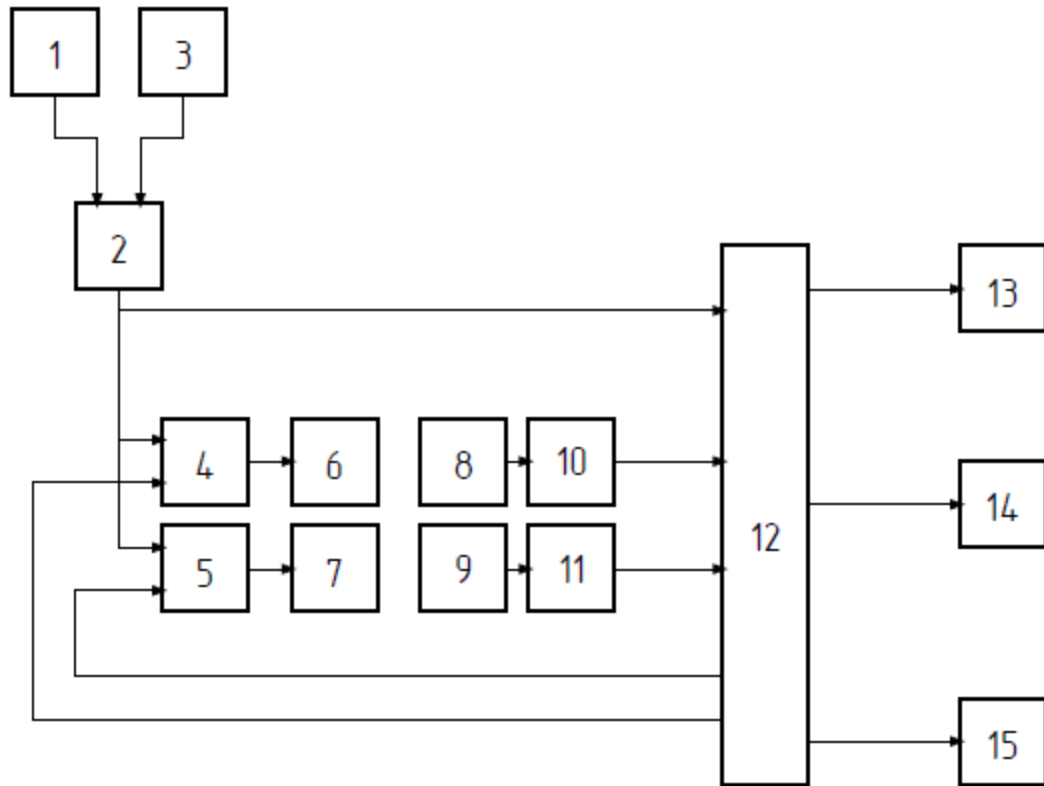


Рис. 15 – Функціональна схема автоматизованого приладу для детектування диму

### 3.1. Підбір мікроконтролера

При розробці пристрою в нас виникла необхідність у виборі мікроконтролера, що задовольняє вимогам по продуктивності, надійності, умов застосування і т.д.

Вибір мікроконтролера (МК) є одним з найбільш важливих рішень, від яких залежить успіх або провал усього проекту. При виборі мікроконтролера існують численні критерії, головні які для нас, ми приставимо.

Основна мета - вибрати мікроконтролер з мінімальною ціною (щоб знизити загальну вартість системи), але в той же час задовольняє системної специфікації, тобто вимогам по продуктивності, надійності, умов застосування і т.д. Загальна

вартість системи включає все: інженерне дослідження і розробку, виробництво (комплектуючі і праця), гарантійний ремонт, оновлення, обслуговування, сумісність, простоту в обігу і т.д.

Наш вибір впав на мікроконтролер STM32F103RC тому що вони мають малу ціну, малі габаритні розміри, і найголовніше це 12 бітний цифро-аналоговий перетворювач.

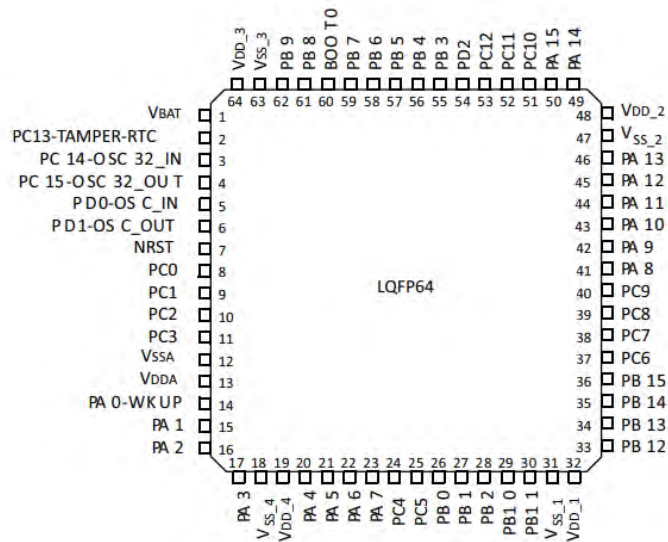


Рис. 16 – Мікроконтролер STM32F103RC в корпусі LQFP64

### 3.2. Розрахунок джерела струму

Для регулювання інтенсивності випромінювання діодів, ми будемо використовувати програмоване джерело струму (current sink).

Програмоване джерело струму з низьким опором встановлює струм через навантаження на основі вихідної напруги ЦАП. Струм тече через Rset, а операційний підсилювач змінює транзистор, який регулює струм через навантаження. Компоненти Cf, Riso та Rfb забезпечують компенсацію для забезпечення стабільності схеми.

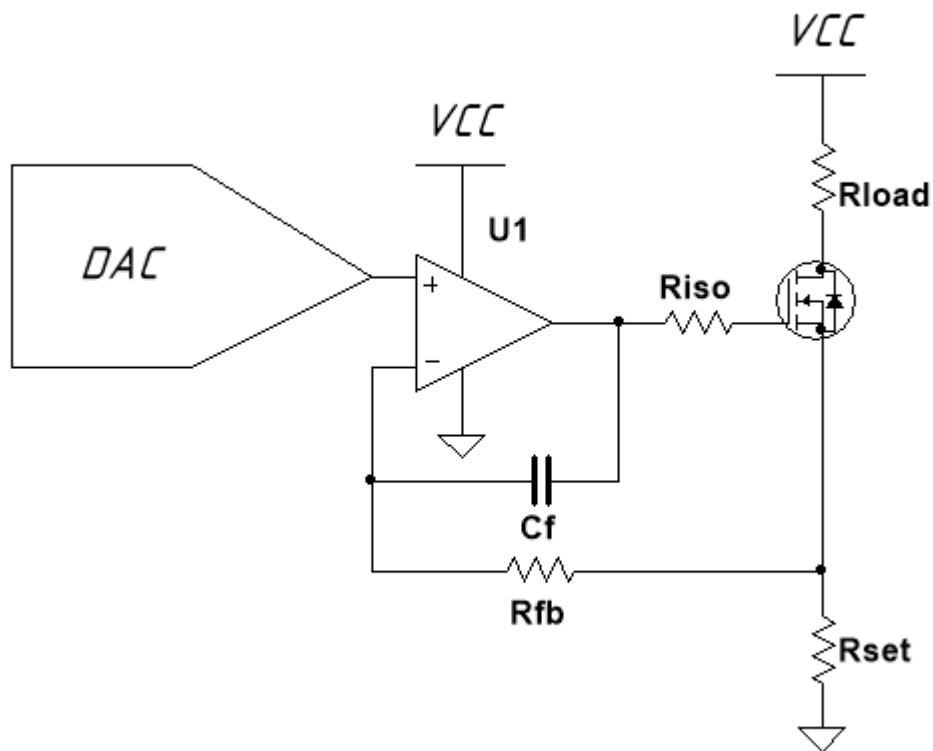


Рис. 17 – Схема джерела струму

Для стабільної роботи схеми потрібно дотриматися певних ключових моментів:

- 1) Потрібно вибрати ЦАП з низькою помилкою зміщення, помилкою посилення та дрейфом. Підсилювачі RRIO слід використовувати для зменшення похибки поблизу кінцевих точок та максимального збільшення резистивного навантаження. Для мінімізації помилок слід вибрати оптичний підсилювач із низькою зміщеною напругою.
- 2) Для точного регулювання струму потрібно використовувати високоточний низько дисперсний резистор- Rset.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.610500.000 ПЗ**

Арк.

43



3) Резистор  $R_{set}$  слід мінімізувати для ефективності, та розсіювання меншої потужності. Більша частина розсіювальної потужності повинна відбуватися через навантаження.

Для харчування навантаження потрібно використовувати окреме джерело високої напруги для приведення струму до навантаження.

Для регулювання струмом на виході нам потрібно на не інвертуючий вхід операційного підсилювача подати напругу, яка рівна добутку опору шунтуючого резистора на струм який проходить через дану частину кола.

$$U_{DAC} = R_{set} \cdot I_{out} \quad (3)$$

Тобто з формули (3) ми можемо визначити номінал резистора джерела струму.

Значення  $C_f$ ,  $R_{fb}$  і  $R_{iso}$  впливають на динамічну поведінку каскаду. Динамічна поведінка - це те, як схема реагує на зміни входу та виходу. Коли напруга, що виходить з АЦП, змінюється, пройде деякий час, щоб ланцюг джерела струму налагодився.

Якщо джерело струму надзвичайно швидко реагуватиме. Зазвичай це призводить до помилки, перенапруги та ризику нестабільності (коливань).

Спроектувавши схему джерела струму, що реагує надзвичайно повільно. Це, як правило, призводить до стабільності (без помилок, без перенапруги і коливань), але це буде повільно. Наскільки повільно залежить від значення компонентів.

Для розрахунку  $R_{iso}$  резистора нам потрібно знати такий параметр транзистора як Total Gate Charge. Total Gate Charge ( $Q_g$ ) - заряд, який потрібно подати на затвор для відкриття транзистора. Знаючи даний параметр ми можемо його зв'язати з струмом який потрібен для відкриття і час за який заряд дійде до потрібного значення.

$$Q_t = I_{in} \cdot t \quad (4)$$

Знаючи струм і напругу на резисторі ми розраховуємо значення нашого резистора:

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$R_{iso} = \frac{U_{DAC}}{I_{In}} \quad (5)$$

Спростивши, ми отримаємо формулу для розрахунку Riso:

$$R_{iso} = \frac{U_{DAC} \cdot t}{Q_t} \quad (6)$$

Значення Cf, Rfb регулюють фазовий зсув (phase margin), який задає час зміни струму.

$$\tau = C_f \cdot R_{fb} \quad (7)$$

Загальний час за який струм змінюється рівний:

$$T_r = t + \tau \quad (8)$$

Після виведення всіх формул проводимо розрахунок схеми джерела струму. За формулою (3), Rset приймаємо рівним 10m, а Максимальний струм який потрібен для живлення діодів беремо 120mA:

$$U_{DAC} = 1 \cdot 120 = 120mV$$

Розраховуємо  $R_{iso}$ ,  $Q_t$ - для даного транзистору рівне 8,9 nC, час ввімкнення приймемо 1uS, розраховуємо за формулою (6).

$$R_{iso} = \frac{0,12 \cdot 10^{-6}}{8,9 \cdot 10^{-9}} = 13,50m$$

Так як в нас вийшли дробові значення приймемо резистор  $R_{iso}=100m$

Для розрахунку часу зміни струму візьмемо  $C_f = 100pF$ ,  $R_{fb} = 1kOm$ , розраховуємо за формулою (7).

$$\tau = 100 \cdot 10^{-12} \cdot 100 = 0,1 \cdot 10^{-9}S$$

Загальний час зміни струму, розраховуємо за формулою (8):

$$T_r = 0,1 \cdot 10^{-9} + 10^{-6} \approx 0,1 \cdot 10^{-6}S$$

### 3.3. Розрахунок транзисторного ключа

Для економії заряду батарейок на час простою системи датчиків, і для періодичного ввімкнення діодів для випромінювання ми використовуємо транзисторний ключ регульований ніжною мікроконтролера. Даний ключ побудований на основі **M**etal **O**xide **S**emiconductor **F**ield **E**ffect **T**ransistors (MOSFET) транзисторі р-типу. Тип транзистора нам дає зрозуміти яким саме потенціалом нам потрібно керувати транзистором. Особливістю даних видів транзисторів є те, що він керується не струмом, а різницею потенціалів.

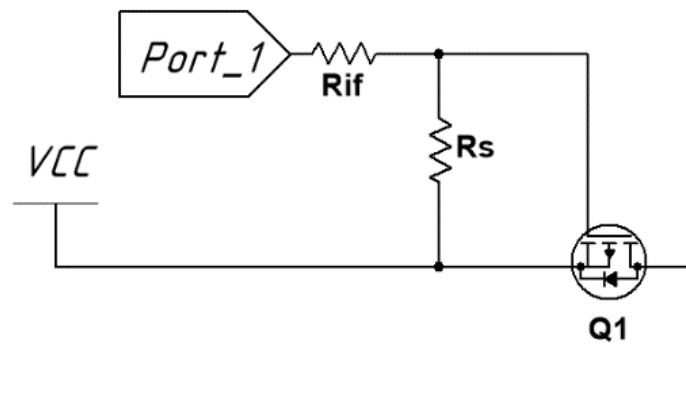


Рис. 18 – Схема транзисторного ключа

Для розрахунку резистора  $R_{if}$  ми використаємо формулу (4) і (5), об'єднавши їх ми отримуємо:

$$R_{if} = \frac{U_{Port\_1} \cdot t}{Q_t} \quad (9)$$

Резистор  $R_s$  використовується для підтяжки ніжки транзистора до живлення, тобто якщо з мікроконтролера не буде подаватися сигнал, то ніжка транзистора не буде «висіти в повітрі» і створювати неконтрольоване відкриття транзистора, а

просто транзистор буде закритий. Номінал  $R_s$  потрібен щоб був мінімум в 10 разів більший за резистор  $R_{if}$ , і умовно більший за  $100k\Omega$ , не даючи створити короткого замикання.

Для розрахунку резистора ключа використовуємо формулу (9):

$$R_{if} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-9}} = 500m$$

Резистор  $R_s$  приймемо  $100k\Omega$ .

### 3.4. Розрахунок трансїмпедансного підсилювача

Для нашого пристрою ми використовуємо трансїмпедансний підсилювач для фотодіода який дасть змогу перетворити струм який утворюється при попаданні випромінювання на фотодіод.

Конфігурація схеми трансїмпангового підсилювача перетворює джерело вхідного струму у вихідну напругу. Струм до посилення напруги базується на опорі зворотного зв'язку. Схема здатна підтримувати константу зміщення напруги на вхідному джерелі в міру зміни вхідного струму, що дає змогу обійти напругу зміщення операційного підсилювача.

Схема підсилювача трансїмпанції складається з фотодіоду, підсилювача, конденсатора, та пари резисторів зворотного зв'язку (рис. 19).

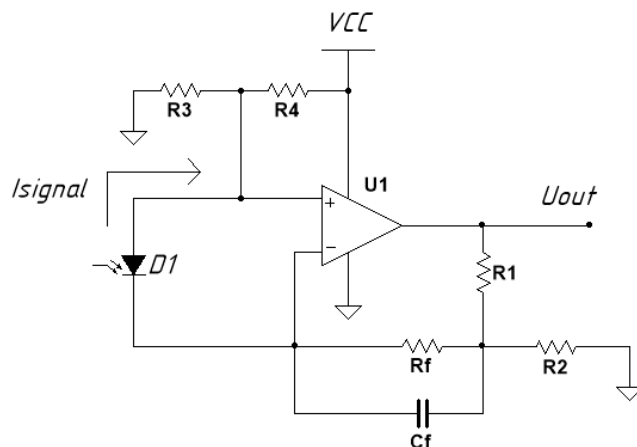


Рис. 19 – Схема трансімпедансного підсилювача

Для стабільної роботи схеми потрібно дотриматися певних ключових моментів:

- 1) Операційний підсилювач повинен мати високий вхідний опір.
- 2) Так як дана схема є чутливою до високочастотних завад, потрібно її розташовувати на платі в окреме місце, і по можливості екранувати.
- 3) Якщо операційний підсилювач має певне зміщення по напрузі, його потрібно компенсувати, тобто подати на неінвертований вхід позитивну напругу.

Світло, яке потрапляє на фотодіод, створює струм ( $I_{signal}$ ), який протікає від катода діода до анода (мал. 1). Цей струм також протікає через резистор зворотного зв'язку,  $R_f$ . Значення  $I_{signal}$  створює вихідну напругу на виході підсилювача,  $U_{out}$ . У цьому ланцюзі збільшення освітленості світла призводить до того, що вихідна напруга стає більш позитивною.

Для розрахунку трансімпедансного підсилювача з опорною напругою ми використовуємо формулу:

$$R_f + R_1 + \frac{R_f + R_1}{R_2} = \frac{U_{out} - U_{os}}{I_{signal}} \quad (10)$$

де  $U_{os}$  це опорна напруга,  $I_{signal}$ .- струм який протікає через фотодіод.

Для розрахунку ємності зворотнього зв'язку  $C_f$  використовуємо формулу:

$$C_f \leq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_f \cdot f_p} \quad (11)$$

$f_p$  – це частота пропускної здатності ланцюга.

Для виставлення опорної напруги ми будемо використовувати напругу операційного підсилювача підключену через дільник напруги з високим вхідним опором.

Резистори  $R_3$  і  $R_4$  це елементи дільника напруги, які розраховуються за наступною формулою:

$$U_{out} = U_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (12)$$

Для розрахунку підсилювача ми після моделювання взяли певний проміжок струму в межах якого діод буде видавати струм, і який ми переведем в напругі і підсилимо. Крайня точка діапазонна це струм який діод бає в повній темноті, і друга це 1000nA. Так як наше моделювання є приблизним, то ми встановимо регульований резистор, яким ми зможемо змінювати коефіцієнт підсилення і налаштувати наш перетворювач. Прийmemo  $R_f=1,5M\Omega$ ,  $R_2=3.3K\Omega$ ,  $U_{out}=3.3V$ ,  $U_{os}=0.1mV$ , після цього знаходимо  $R_1$ , для цього з формули (10) виражаємо  $R_1$  і розраховуємо:

$$R_1 = \frac{I_{signal} \cdot R_f + R_2 \cdot U_{os} - R_2 \cdot U_{out} + I_{signal} \cdot R_2 \cdot R_f}{I_{signal} - I_{signal} \cdot R_2} = 1.7 \cdot 10^6$$

Для розрахунку ємності зворотного зв'язку  $C_f$  використовуємо формулу (11),  $f_p$  візьmemo 100кГц:

$$C_f \leq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1pF$$

Для розрахунку резисторів  $R_3$  і  $R_4$  прийmemo резистор  $R_3$  рівним 3.3кОм, а другий розрахуємо за формулою (12):

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot U_{in}}{U_{out}} - R_3 = 1M\Omega$$

### 3.5. Висновок до розділу III

В даному розділі ми підібрали елементи електричного тракту. Розробили функціональну схему. Спроекували і розрахували всі номінали електричної принципової схеми.

Для проектування друкованої плати ми використовували Altium Designer для більш легкого проектування і замовлення друкованої плати.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						50
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

## РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЕТЕКТОРА

В даному розділі ми пройдемо крізь розробку пристрою для детектування диму. Розроблятимемо конструктив в програмі SolidWorks а оптичні питання ми вирішуватимемо в програмі zemax. Спроекуємо всі деталі і створимо зборку з них.

Основною особливістю корпусу автоматизованого пристрою детектування диму це те що ми для складання всього корпусу використовуємо тільки чотири гвинти. Всі інші з'єднання виконані у вигляді заціпок.

Всі деталі які відносяться до конструктива пристрою ми будемо виготовляти з пластмаси PC 2807 IV. Даний пластик є стійкий до інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювання. Ми взяли саме цей матеріал тому що він не пропускає інфрачервоне випромінювання.

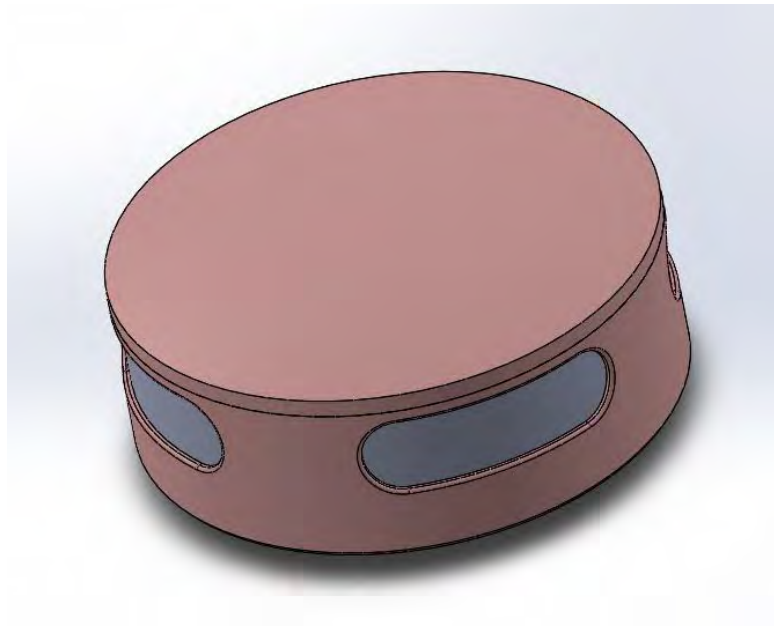


Рис. 20 – Зовнішній вигляд детектора

### 4.1. Розробка камери диму

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51



Розробку детектора ми почнемо з серця нашого приладу а саме з камери диму. Дана камера розробляється для того щоб світло з навколишнього середовища не потрапляло на приймач і не сліпило його.

Для камери є декілька головних критеріїв які задають весь конструктив датчика. Перший критерій це камера повинна захищати від навколишнього світла і не давати світлу з випромінювачів виходити з камери. Другим критерієм є те що без всяких завад дим повинен потрапляти в камери.

Ми спроектували так звану світлову завісу яка не дає можливості світлу проходити в камеру, але в тей-же час дає можливість диму потрапляти в камеру.

Для того щоб дізнатися ефективність використання власноруч розроблених шторок ми змодельємо даний процес в програмі zemax.

Для початку моделювання в таблиці об'єктів створити поверхню циліндра радіус якого більший ра радіус камери диму, і створити джерело світла яке дає змогу у своїх налаштуваннях вказати об'єкт який буде випромінювати світло. В нас це буде внутрішня сторона циліндра, тобто в налаштуваннях вказуємо цифру об'єкта циліндр. Не забуваємо також вказати такі параметри джерела як кількість променів для візуалізації, та кількість променів які будуть використовуватися для трасування світлових променів.

Далі в центрі циліндра створюємо 6 однакових детекторів енергії випромінювання, але так щоб коли ми встановили нашу камеру то ці детектори були в середині і не перетинали стінки (шторки) нашої камери. В налаштуваннях детектора ще потрібно вказати яка поверхня детектора буде сприймати освітлення. По замовчуванню там стоїть цифра 0, тобто сприйняття буде йти двома поверхнями. Нам потрібно встановити цифру 1 яка вказує програмі що тільки одна поверхня є чутливою (рис. 21).

Ще потрібно звернути увагу на косинус фактор, який має кожне джерело потоку світла в програмі zemax. Даний параметр регулює межі випадкового кута під яким промінь буде виходити з поверхні. Тобто чим більше значення косинуса

фактора тим відхилення від нормалі поставлену в точку виходу променя менше і навпаки чим менший косинус фактор тим більше відхилення. Для моделювання ми встановили косинус фактор рівним 1. Дана цифра підібрана імперично і не має формульного обґрунтування. Після того як джерело випромінювання налаштоване переходимо до налаштувань безпосередньо нашої моделі.

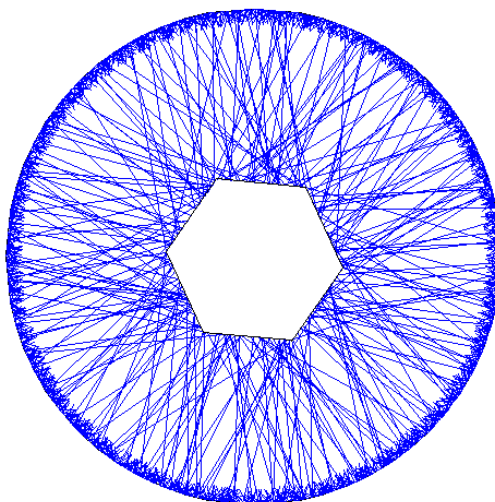


Рис. 21 – Циліндричне джерело випромінювання

Загружаємо в таблицю об'єктів модель камери диму. І встановлюємо по координатах модель камери диму таким чином щоб вісь циліндра і вісь камери були соосні. Для більш реалістичних даних при моделюванні, нам потрібно налаштувати матеріал поверхню і розсіювання камери диму. Параметри матеріалу ми налаштували так щоб він не пропускає світло і в деякій мірі поглинав його. Для налаштування розсіювання і поглинання поверхні клацаємо по нашому об'єкту і переходимо в поглиблені налаштування. На вкладні розсіювання і покриття встановлюємо такі параметри як відбиття поглинання і Ламбертове розсіювання поверхні. Для Ламбертового розсіювання потрібно також вказати відсоток енергії одного від одного променя який розсіється, і другий параметр це на яку кількість променів розсіється наше світло. Ми встановлюємо перший параметр 0.7, а другий

10. Це значить що 70 відсотків енергії від одного променя рівномірно розприділяються на 10 променів які вийдуть з точки в яку впав промінь.

Ми вибрали Ламбертове розсіяння а не інше тому що дане розсіяння є дифузійним тобто рівномірним, як найближче приближене до реального.

Коли налаштування всіх об'єктів було виконано ми запускаємо програму земах на трасування променів.

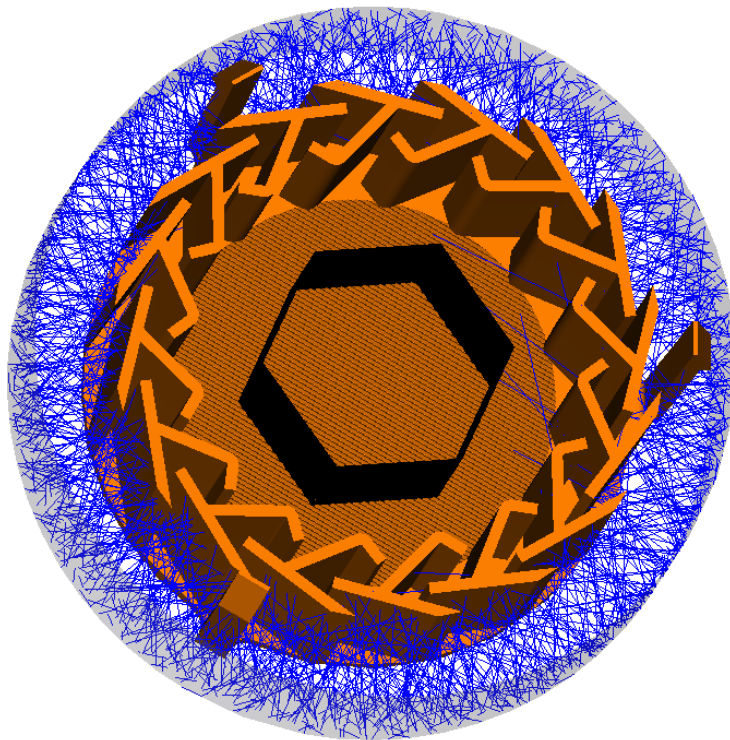


Рис. 22 – Розприділення променів при моделюванні

Для спрощення розрахунків ми встановлюємо в налаштуваннях джерела струму кількість енергії всіх променів рівним 100, для того щоб ми могли оцінити кількість енергії в відсотках. Коли розрахунки програми були виконані, ми просумували всі данні які показали наші детектори які стояли в центрі. І ми отримали енергію яка все таки проникла крізь бар'єр, вона рівна  $10^{-4}$

Тобто зі ста відсотків енергії яка була направлена на детектори тільки  $10^{-4}$  потрапило в середину. Це дуже мала цифра, не беручи в увагу що камера диму буде стояти в корпусі який в свою чергу теж буде зупиняти прямі промені.

#### 4.2. Розробка конструкції корпусу

Коли ми вже знаємо габарити камери диму, тоді ми можемо розробити корпус. Для приладу я вибрав циліндричну форму виходячи із її простоти технологічності і легкої проникності повітря (рис. 20).

Проаналізувавши конструкції детекторів сторонніх виробників і дізнавшись про їхні конструкційні проблеми ми удосконалили конструктив детектора. Конкуренти мали наступні проблеми: складність у монтажі детектора, відсутність захисту від комах, інертність спрацювання яка викликана неправильним конструктивом, складність в заміні батарейок, складність в розбиранні і як наслідок в очищенні камери диму від пилу, відсутність, великі габаритні розміри. Дані проблеми ми вирішимо в нашому датчику.

По стінкам циліндричної поверхні ми розташували великі отвори які прикрили мілкою сіточкою. Сіточка потрібна для того щоб в детектор не потрапляли комахи.

Для зручного кріплення детектора ми розробити спеціальне радіальне кріплення яке дозволяє без проблем зняти і надіти детектор, але в той же час міцно кріпить його до стіни. Кріплення це окрема деталь яка прикручується до стіни а вже детектор прикріплюється на неї (рис. 23).

Для легкості заміни батарейок і очистки камери ми спроектували конструктив таким чином щоб доступ до внутрішніх частин детектора був через знімання однієї верхньої деталі.

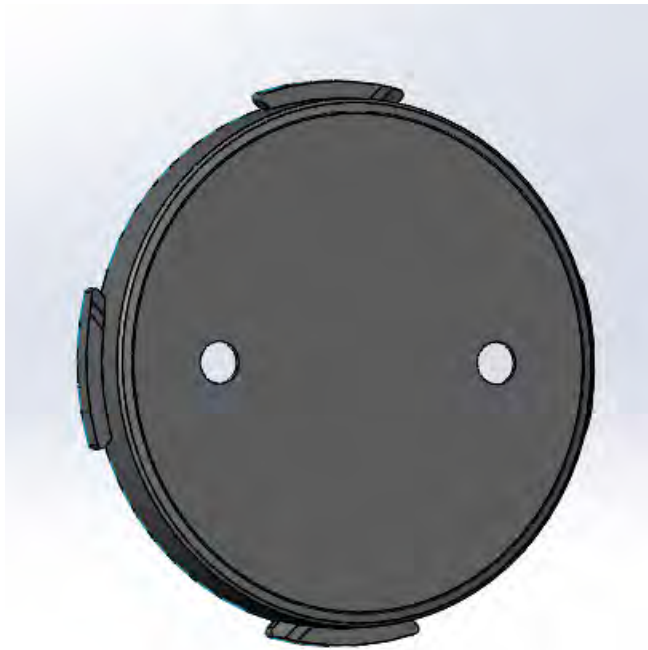


Рис. 23 – Спеціальне кріплення

Також ми додали спеціальну внутрішню деталь яка не дає диму попасти на плату, тобто вона є так званим внутрішнім каналом для захисту внутрішніх важливих компонентів (рис. 24).

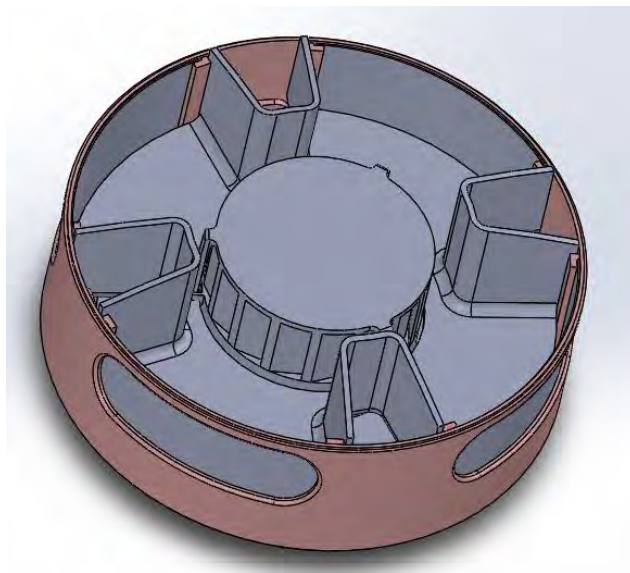


Рис. 24 – Внутрішній вигляд детектора

Як можна побачити дані деталі є доволі складні для виготовлення. А саме це бокове лиття і складні пластмасові заціпки які потрібно також вготовити.

Для цього ми застосовуватимемо так назване лиття в форму. Ця технологія дає швидко і якісно робити багато однакових деталей які неможливо буде розпізнати одні від одної.

Щоб відформувати внутрішні заціпки які тримають плату ми будемо використовувати слайдер. А для відформовування бокових вікон ліфтер.

Слайдер – назва спеціального рухомого елемента прес-форми яка при розмиканні форми рухається автоматично, за допомогою похилої площини від'їжджає на певну відстань яка регулюється площиною. Особливістю є те що для правильної роботи потрібно щоб деталь ковзала по внутрішній поверхні.

Ліфтер - назва спеціального рухомого елемента прес-форми яка при розмиканні форми рухається не автоматично а потребує додаткові сили. Особливістю є те що для правильної роботи не поверхні для ковзання внутрішній поверхні.

Головною різницею між ліфтером і слайдером це те що слайдер рухається синхронно при розмиканні форми. А щоб освободити слайдер потрібно завчасно його вийняти а вже потім розмикати форму.

Форма для лиття повинна бути найвищої якості! На боковій та передній поверхнях не повинно бути подряпин, холодних стиків, ліній чи слідів. Зверніть увагу на форми з отворами. Необхідно - використовувати систему опалення або гарячу гонку!

#### **4.3.Висновок до розділу IV**

В даному розділі ми розробили зовнішню оболонку автоматизованого пристрою для детектування диму. Підібрати відповідні матеріали для виготовлення. Пролили світло на методи лиття пластику і способи підформовування заціпок в внутрішніх частинах.

Головною частиною нашого пристрою є камера диму, яку ми розробили і протестували в середовищі моделювання трасування променів.

## Висновок

У ході виконання дипломного проекту був проведений докладний огляд всіх можливих детекторів диму. Підбрано фотодіоди які поглинають випромінювання широкого спектру, світлодіоди: синього, червоного кольору.

Сучасні датчики диму, засновані на технології Dual Optical Detecto, можуть забезпечити не тільки високу вірогідність виявлення загоряння, але й аналіз складу диму з метою визначення його типу для ефективнішого запобігання поширенню вогню. Двохвильова концепція роботи детектора диму в комбінації з правильною конструкцією камери датчика дозволить забезпечити надійне виявлення областей загоряння на основі залежності інтенсивності розсіювання різних довжин хвиль світла від розміру часток диму.

Також ми вдосконалили алгоритм детектування поставивши два приймача випромінювання які працюють між собою синхронно.

Подальші наукові дослідження в цьому напрямку дозволять не тільки удосконалити методи детектування диму, але й знизити собівартість такого обладнання, що буде сприяти його поширенню.

В конструкторській частині ми розповіли про лиття пластику в форму. І пролили світло на питання які з першого погляду вирішити неможливо, і дослідили як це можна зробити.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## Список використаної літератури

- [1] «Извещатели пожарные: классификация, типы, виды, обозначение. – Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/izveshhateli-pozharnyie-klassifikatsiya-tipyi-vidyi-oboznachenie/>».
- [2] «Пожарный извещатель. – Режим доступа: [http://www.techportal.ru/glossary/pojarnyi\\_izveschatel.html](http://www.techportal.ru/glossary/pojarnyi_izveschatel.html)».
- [3] «Пивинская И. В. Проверка временем. Ее не всегда выдерживает чувствительность пожарных извещателей / И. В. Пивинская // БДИ. – №4. – 2004. – с. 55.».
- [4] «Неплохов И. Г. Двухдиапазонные дымовые пожарные извещатели. / И. Г. Неплохов // Системы Безопасности. – 2008. – №3– с. 40.».
- [5] «Зайцев А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 2 / А. В. Зайцев // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №4.– с. 38.».
- [6] «Маслов И. А. Нет дыма без огня / И. А. Маслов // Журнал алгоритм безопасности. – 2004. – №3. – с. 54.».
- [7] «Зайцев, А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 1 / А. В. Зайцев, И. Г. Неплохов // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №3. – с. 28.».
- [8]
- [9] « Хвостиков И. А. Теория рассеяния света и ее применение. К вопросам прозрачности атмосферы и туманов. М.: Успехи физических наук, т. XXIV, вып. 2, 1940 – 212 с.».
- [10] «М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М.: Наука, 1973 – 598 с.».
- [11] «Сулим Т. Двухдиапазонные дымовые извещатели. Новый уровень точности обнаружения. // Алгоритм безопасности. – 2010. – №5.».
- [12] «Зайцев, А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма, пыли, пару и аэрозолям. Часть 3 / А. В. Зайцев, И. Г. Неплохов // Журнал алгоритм безопасности. – 2012. – №5. – с. 18.».
- [13] «Фототранзистор.– Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B>».
- [14] «Фотодиод. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1>».
- [15] «Фоторезистор. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D>».
- [16] «Фотоприемч. – Режим доступа: <https://www.osram.com/ecat/Radial%20T>».



- [17] Lashko Olena Experience in the Organization of Non-Destructive Testing Formal Education in Ukraine / International Conference NDT Days 2019, 17-21 June, 2019, Sozopol, Bulgaria (NDT Days 2019). - P. 91-95..
- [18] Лашко О. В. Окремі аспекти розробки навчальних програм для студентів спеціалізації «Неруйнівний контроль, технічна діагностика» / О. В. Лашко // Матеріали III науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в.
- [19] Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронн.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		60

## Додаток А

### Технічне завдання

#### 1. Найменування приладу.

„Автоматизований пристрій для детектування диму”.

#### 2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.

Розробка даного приладу виконувалася для того щоб своєчасно можна було за детектувати дим.

#### 3. Передумови для розробки приладу.

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

#### 4. Вимоги до технічних характеристик.

Основні параметри:

- Робочий спектральний діапазон діодів випромінювання  $\lambda_1=463-475$  нм,  $\lambda_2=850-880$  нм;

- Робочий спектральний діапазон приймального каналу  $\Delta\lambda= 400-1100$ нм.

#### 5. Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища  $-10...40^{\circ}\text{C}$ ;

- відносна вологість 50% при температурі навколишнього середовища  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ;

- атмосферний тиск  $750\pm 30$  мм.рт.ст.

#### 6. Вимоги до конструкції приладу.

Прилад повинен зберігати працездатність та свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

6.1. Конструкція приладу повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

6.2. Прилад повинен мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:

6.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування приладом;

6.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження приладу або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу приладу або на задній малодоступній панелі.

6.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування приладу повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби приладу.

### **7. Техніко-економічні вимоги.**

7.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.

7.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка приладу повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

### **8. Вимоги до упаковки.**

8.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.

8.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику: простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

### **9. Стандартизація та уніфікація.**

До приладу повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

### **10. Вимоги до техніки безпеки.**

10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування приладу повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

10.2. Середній час без відмовлень роботи приладу повинен бути не менше 500 год.

### **11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.**

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
						62
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

11.2. Строк служби 5 років.

11.3. Технічний ресурс 1000 год.

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		<b>63</b>

**Додаток Б**

Програмний код пристрою  
main.c

/\* USER ...

					<b>ПК61.610500.000 ПЗ</b>	Арк.
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		<b>64</b>