

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки,  
загальної та прикладної фізики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНИХ  
ДАТЧИКІВ**

спеціальності 171 Електроніка

Студент гр. ЕП-81

Д.Г. Сандлер

Науковий керівник

к.ф.-м.н., доцент

Н.І. Шумакова

Завідувач кафедри ЕЗПФ

д.ф.-м.н., професор

І.Ю. Проценко

Суми – 2022

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики  
Спеціальність 171 –Електроніка, освітньо-професійна програма  
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ Зав.  
кафедри ЕЗПФ

І.Ю.Проценко

«25» травня 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

**Сандлера Данила Геннадійовича**

1. Тема роботи Особливості конструкції та принципи роботи оптичних датчиків затверджена наказом по університету від «04» травня 2022р. , №0316-VI
2. Термін здачі студентом закінченої роботи 08 червня 2022 року
3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета)

Сучасні оптичні датчики розвиваються в напрямку чутливості, точності, компактності і інтелекту. Вони дозволяють вимірювати майже все, наприклад, температуру, тиск, швидкість обертання, відстань, швидкість лінійного переміщення, рівень рідини, масу, звукові хвилі, деформацію, коефіцієнт електричне поле, електричний струм, заломлення, магнітне поле, концентрацію газу та ін. Волоконно-оптичні датчики мають безліч чудових властивостей таких як: продуктивність, малий діаметр, водонепроникність, висока температуростійкість а ін. Вони можуть відігравати роль людських вух, до яких люди не можуть дістати. Мета кваліфікаційної роботи полягала в узагальненні літературних даних стосовно особливостей конструкцій, застосування та принципів роботи оптичних датчиків.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить їх розробити)
  1. Загальна інформація та класифікація оптичних датчиків.
  2. Принцип роботи волоконно-оптичних датчиків.
  3. Принцип роботи датчик рівня рідини та температури.
  4. Застосування оптичних датчиків у різних сферах.

## 5. Висновки.

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

Слайди №1-2 – Загальна інформація

Слайди №3-6 – Принцип роботи оптичних датчиків

Слайди №7-10 – Застосування оптичних датчиків

Слайд №11 – Висновки

6. Дата видачі завдання 26.05.2022р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістрів	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних даних	до 30.05.2022р.	<i>вик.</i>
2.	Загальна інформація та класифікація	до 04.06.2022р.	<i>вик.</i>
3.	Принцип роботи та застосування оптичних датчиків	до 06.06.2022р.	<i>вик.</i>
4.	Підготовка тексту магістерської роботи	до 08.06.2022р.	<i>вик.</i>
5.	Попередній захист роботи	10.06.2022р., 10 <sup>05</sup> (дистанційно)	<i>вик.</i>
6.	Захист роботи в екзаменаційній комісії	16.06.2022 р., 17.06.2022 р., 10 <sup>05</sup> (дистанційно)	<i>вик.</i>

Студент

Д.Г. Сандлер

Керівник роботи

Н.І. Шумакова

## РЕФЕРАТ

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягала в ознайомленні з принципами роботи та будови оптичних датчиків, застосування датчиків в різних галузях.

Актуальність: З розвитком технологій необхідність у датчиках які можуть одночасно бути надійними, довговічними, стабільними, з малими габаритами, масою, енергоспоживанням та невеликою ціною різко зростає в таких галузях, як аерокосмічна та оборонна промисловість, виробництво матеріалів, медицина та будівництво.

Під час виконання роботи була використана різноманітна спеціалізована література для аналізу заданої теми.

У результаті проведеного наукового аналізу встановлено принцип роботи оптичного датчика та його складові.

Робота викладена на 28-и сторінках, зокрема, містить 10 рисунків, 2 таблиці, список використаних джерел із 16 найменувань.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК, СВІТЛОДІОД, ЛАЗЕР, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>РОЗДІЛ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ</b> .....	7
1.1. Класифікація оптичних датчиків.....	7
1.1.1. Фотометричні одиниці.....	10
1.2. Особливості конструкції волоконно-оптичних датчиків.....	11
<b>РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ</b> .....	14
2.1. Принцип роботи волоконно-оптичних датчиків.....	14
2.1.1. Датчик рівня рідини.....	15
2.1.2. Датчик температури.....	15
2.2. Датчики Фабрі-Перо.....	16
2.3. Поляризаційний детектор наближення.....	17
2.4. Оптичний датчик згину.....	19
<b>РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ В РІЗНИХ СФЕРАХ</b> .....	20
3.1. Сільське господарство.....	20
3.2. Медицина.....	24
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	27
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	28

## ВСТУП

Потреба в датчиках стрімко зростає у зв'язку з бурхливим розвитком автоматизованих систем контролю та управління, впровадженням нових технологічних процесів, переходом до гнучких автоматизованих виробництв. Крім високих метрологічних характеристик датчики повинні володіти високою надійністю, довговічністю, стабільністю, малими габаритами, масою та енергоспоживанням, сумісністю з мікроелектронними пристроями обробки інформації за низької трудомісткості виготовлення та невеликої вартості. Цим вимогам максимально задовольняють оптичні датчики.

Вже на самому початку двадцять першого століття оптичні датчики відіграють життєво важливу роль практично в кожному технічному застосуванні: від простих світлових бар'єрів до складних інтерферометрів білого світла, від автомобільних датчиків дощу до скануючих ближніх оптичних мікроскопів з високою роздільною здатністю, існують датчики для вимірювання найрізноманітніших вимірювальних властивостей.

Після механічних контактних та потенціометричних датчиків оптичні детектори, можливо, є найбільш популярними пристроями для визначення положення та переміщень об'єктів.

Оптичні датчики мають ряд переваг перед своїми електронними та/або механічними аналогами. Крім широкого динамічного діапазону та низького рівня шуму, оптичні датчики реагують на будь-яку зміну вимірювальних властивостей буквально зі швидкістю світла. Крім того, безконтактний характер оптичного вимірювання дозволяє уникнути всіх системних помилок, які виникають із тактильними методами.

## РОЗДІЛ 1

# КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

### 1.1. Класифікація оптичних датчиків

Оптичні датчики - це електронні пристрої, невеликі за розмірами, що дають змогу виявити наявність об'єкта (або людини), який перериває промінь світла, що досягає датчика. Оптичний датчик перетворює світлові промені в електронний сигнал. Цей сигнал (або сукупність сигналів) відправляється на вхід реєструючої або керуючої системи під впливом електромагнітного випромінювання. Оптичні сенсори цих датчиків можуть розпізнавати сигнал у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазонах. Оптичні датчики можуть реагувати на напівпрозорі та непрозорі предмети, дим, водяну пару, аерозолі.

Оптичний датчик являється підвидом безконтактних датчиків, тому що механічний контакт між сенсором датчика та об'єктом, що впливає відсутній. Саме така властивість оптичних датчиків обумовлює їхню популярність для застосування в автоматичних системах управління. Дальність спрацьовування оптичних датчиків набагато більша, ніж в інших видах безконтактних датчиків.

Оптичні датчики мають низку переваг перед своїми механічними та електронними аналогами. Крім низького рівня шуму та широкого динамічного діапазону, оптичні датчиків реагують на будь-яку зміну вимірювальних властивостей зі швидкістю світла. Крім того, безконтактність оптичного вимірювання дозволяє уникнути всіх можливих систематичних помилок, які виникають із тактильними методами.

За типом пристроїв оптичні датчики поділяються на моноблочні і двоблочні. У моноблочних датчиках випромінювач і приймач знаходяться являються частинами одного пристрою і знаходяться в одному корпусі. У двоблочних датчиках джерело випромінювання і приймач оптичного сигналу розташовані в окремих корпусах.

Загалом, оптичні датчики поділяються на бар'єрні, рефлекторні та дифузійні (рис. 1.2) [1].

Бар'єрні датчики, типу Т, джерело і детектор знаходяться в окремих корпусах, які встановлюються один навпроти одного. Відстань між корпусами може досягати 100 метрів. Предмет, який потрапляє в зону дії джерела оптичного датчика, перериває проходження променя, що в свою чергу, фіксується приймачем, а сигнал, який з'явився після обробки відправляється на керований пристрій.

Рефлекторні датчики, типу R, розташовані в одному корпусі з джерелом оптичного сигналу, і детектором. Датчики такого типу, здебільшого, використовуються для підрахунку кількості продукції на виробництві. Відстань дії даних датчиків може досягати до 8 метрів.

В дифузійних датчиках, типу D, випромінювач оптичного сигналу і детектор знаходяться в одному корпусі. Детектор враховує інтенсивність поглинання променя, який відбивається контрольованим об'єктом. Також дальність дії їх залежить від розсіювання променів через властивості об'єкта, і при використанні стандартних показників може досягати до 2 метрів.

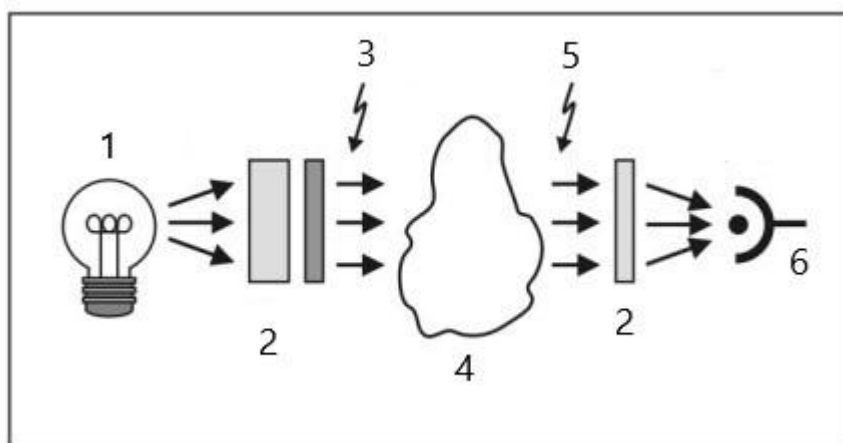
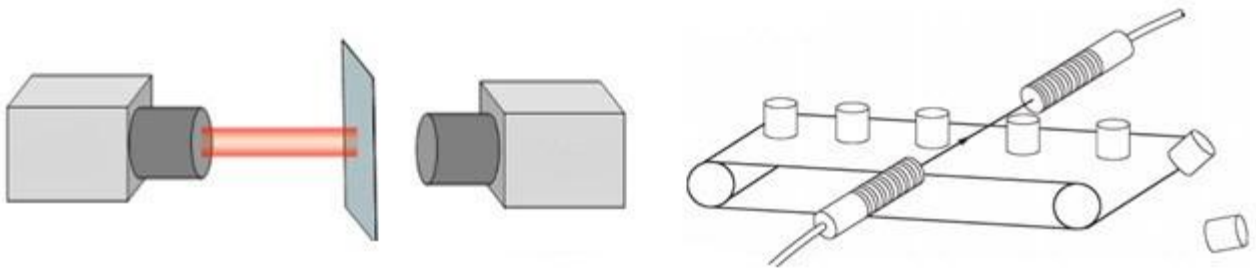
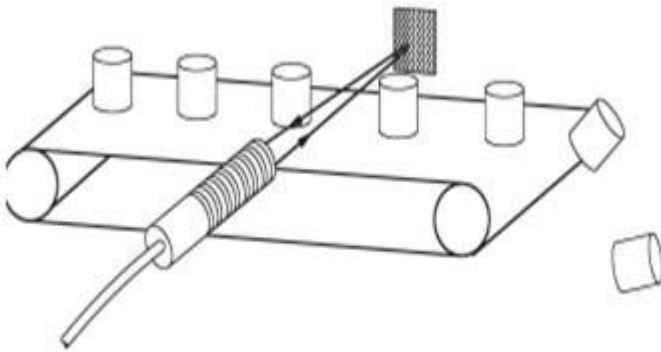


Рисунок 1.1 – Схема оптичного датчика: 1 – джерело світла, 2 – оптичні елементи, 3 – падаючий промінь світла, 4 – об'єкт, 5 – світло від об'єкта, 6 – детектор. Адаптовано із роботи [3]

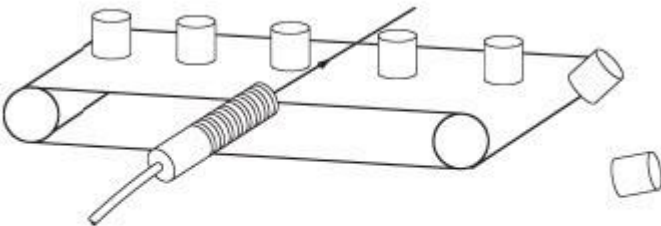




а)



б)



в)

Рисунок 1.2 – Види оптичних датчиків: бар'єрний (а); рефлекторний (б); дифузійний (в). Адаптовано із роботи [2]

Незалежно від того, для яких цілей розроблений окремий оптичний датчик і яка в нього конструкція, він завжди складається з джерела світла, приймача випромінювання (фотоприймач), і ряду оптичних елементів (рис. 1.1).

Джерело світла в оптичних датчиках потрібно для передачі сигналу на приймач. Об'єктом, що випромінює світло в оптичному датчику може бути лазер, світлодіод, лампа розжарювання тощо. В якості приймача випромінювання найчастіше використовуються фоторезистори, фотодіоди та фототранзистори. Оптичними елементами можуть бути лінзи або дзеркала. Об'єкт, на який вказує датчик, є частиною процесу вимірювання тому що він обробляє падаюче світло таким чином, що кількість, яку потрібно виміряти, можна витягти із сигналу фотодетектора. Однак конкретна властивість, яку потрібно виміряти, цільова ціна, умови навколишнього середовища, та багато інших параметрів визначають застосування – конкретні налаштування та відповідний набір компонентів.

### **1.1.1. Фотометричні одиниці**

#### **Сила світла**

Кандела - це сила світла, що випромінюється у перпендикулярному напрямку поверхнею тонкого випромінювача у вигляді абсолютного чорного тіла.

#### **Світловий потік**

Потік світла від гіпотетичного точкового джерела називається ізотропним, тобто він випромінює світло рівномірно у всіх напрямках. Кількість світла, що випромінюється в заданому напрямку в деякому тілесному куті, називається світловим потоком. Люмен - це світловий потік, що випускається певним точковим джерелом із силою світла в 1 кд усередині конуса з тілесним кутом в один стерадіан ( $\Omega$ ).

#### **Освітленість**

Освітленість – це кількість світла, що падає на поверхню. Один люкс-це освітленість, створювана світловим потоком в один люмен, що падає на поверхню площею в один

квадратний метр.

### Яскравість

Блиск або сяйво поверхні, що самосвітиться або освітленої, називається яскравістю. Одиницею яскравості у системі СІ є кандела на квадратний метр [4].

Таблиця 1.1 – Фотометричні одиниці. Адаптовано із роботи [5]

Величина	Символ	Одиниця
Сила світла	$I$	1 Кандела (кд)
Світловий потік	$\Phi$	1 Люмен (лм)
Освітленість	$E$	1 Люкс (лк)
Яскравість	$L$	1 кд/м <sup>2</sup>

## 1.2. Особливості конструкції волоконно-оптичних датчиків

Волоконно-оптичний датчик складається з оптичного джерела (лазер, світлодіод, лазерний діод тощо), оптичного волокна, чутливого або модуляторного елемента, що перетворює вимірювану величину в оптичний сигнал, оптичного детектора та обробної електроніки. (осцилограф, оптичний аналізатор спектру тощо).

Тобто, основною відмінністю волоконно-оптичних датчиків є саме оптоволокно.

Оптичне волокно - скляний прут круглого перерізу діаметром від 5-6 мкм до 0,3 мм з полірованими торцями та бічною поверхнею, призначений для передачі випромінювань оптичного діапазону на основі явища повного внутрішнього відбиття від бічної поверхні (рис. 1.3). Волокно виготовляється з певних діелектричних матеріалів, таких як полімер або скло.

Таблиця 1.2 – Порівняння телеметричних ліній. Адаптовано із роботи [7]

Характеристика	Коаксіальний кабель	Оптичне волокно
Ослаблення (дБ/км)	2	1(кварц) 150(полімер)
Час життя (роки)	25-40	25-40
Електрична ізоляція	відсутня	повна
Вага та розмір	великі	малі

Оптичне волокно служить світловодом і використовується у наступних трьох областях:

- передача інформації, перетвореної на оптичні сигнали;
- спостереження або вимірювання оптичними засобами важкодоступних зонах або в несприятливому оточенні середовищі (наприклад, у вибухонебезпечній або корозійній атмосфері);
- генерування оптичних сигналів шляхом модуляції світла під дією фізичної величини.

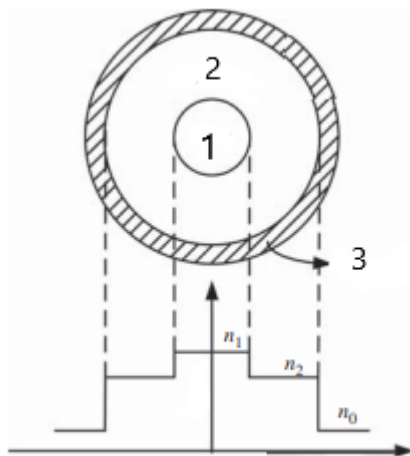


Рисунок 1.3 – Схема оптоволоконна: 1 – серцевина(волокна), 2 – облицювання, 3 – полімерна оболочка. Адаптовано із роботи [6]

В якості джерела випромінювання можуть використовуватися як когерентні (лазери), так і некогерентні джерела (світлодіоди). У волоконно-оптичних датчиках на

основі одномодового волокна найчастіше використовуються арсенід-галієві напівпровідникові лазери в діапазоні довжин хвиль 1,3-1,55 та 0,8-0,95 мкм з вихідною потужністю 1-10 мВт.

У багатомодових волоконно-оптичних датчиках використовуються малопотужні (1-10 мВт) світлодіоди таких же довжин хвиль, так як інтенсивність є параметром, що реєструється.

У сучасних волоконно-оптичних датчиках використовуються р-п-фотоприймачі з мінімальним темновим струмом (десяті частки наноампер), що дозволяє досягти чутливості до виявлення 0,5 мкВт у смузі 100 МГц. Чутливість зростає при зменшенні смуги частот. Даних характеристик цілком достатньо більшості практичних вимірювань, але у окремих випадках, коли потрібно реєстрація слабких світлових потоків, застосовується метод рахунку фотонів з допомогою фотоелектронних помножувачів.

Для спільної роботи волоконно-оптичних датчиків з оптичними волокном необхідні: поляризатори, стержневі лінзи, призми, фазозсувні пластини. Оптичні елементи повинні бути малогабаритними, термостабільними, легко інтегруватися в оптичну систему волоконно-оптичного датчика.

## РОЗДІЛ 2

### ПРИНЦИП РОБОТИ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

#### 2.1. Принцип роботи волоконно-оптичних датчиків

Розробці волоконно-оптичних датчиків завжди сприяли та сприяють досягнення у виготовленні скляних волокон та їх системних компонентів (роз'ємів, джерел світла, детекторів тощо). Потрапив у волоконно-оптичний детектор світловий пучок від джерела світла (рис. 2.1) під дією параметра, що вимірюється (наприклад, тиску, температури тощо) зазнає в детекторі змін за інтенсивністю, поляризацією, фазою або кольором і завдяки цьому знебарвлює отримання інформації. Поширення світлових хвиль усередині датчика здійснюється по скляних волокнах, що застосовуються, наприклад, у техніці зв'язку наприклад, у техніці зв'язку.

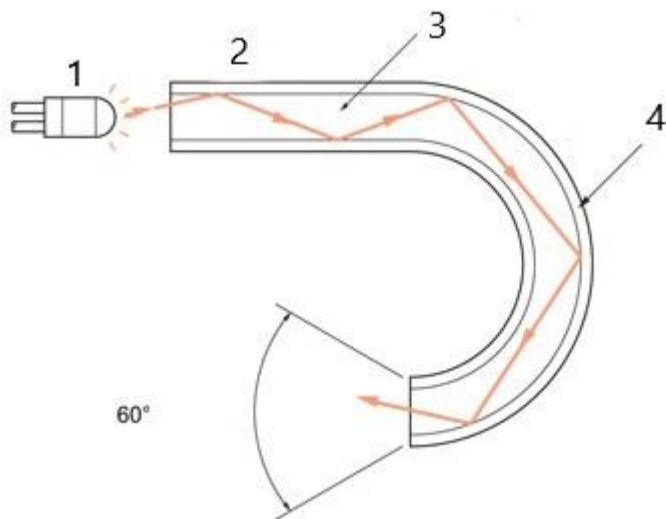


Рисунок 2.1 – Схема волоконно-оптичного датчика: 1 – світлодіод, 2 – оптоволокно, 3 – серцевина, 4 – облицювання. Адаптовано із роботи [9]

Ці датчики нових типів знаходять застосування насамперед в умовах, що характеризуються наявністю агресивних пар або вибухонебезпечних газових сумішей, у зонах підвищеної радіоактивності та сильних електромагнітних полів [8].

### 2.1.1. Датчик рівня рідини

Конструкція датчика рівня рідини складається з двох оптоволоконних світловодів та призми.

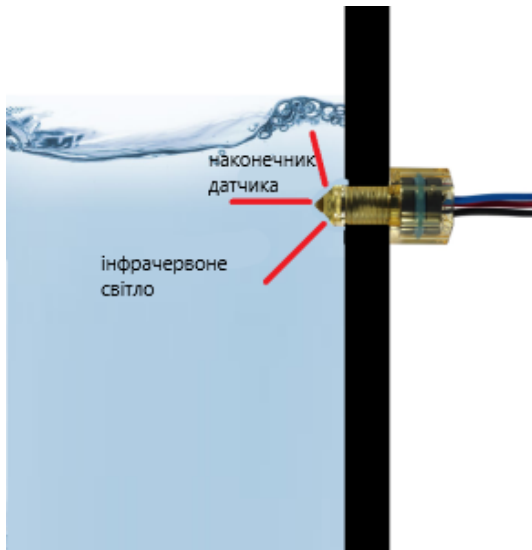


Рисунок 2.2 – Датчик рівня рідини. Адаптовано із роботи [2]

Принцип його дії складається на різниці коефіцієнтів заломлення повітря та рідини, рівень якої необхідно визначити. Коли датчик знаходиться вище рівня рідини, то більша частина світла, яка передається першому світловоду потрапляє в світловод другого. Це можливо лише завдяки повному внутрішньому відображенню призми. Коли призма досягає рівня рідини, змінюється кут її повного внутрішнього відображення, оскільки коефіцієнт заломлення рідини перевищує коефіцієнт заломлення повітря. Цей процес призводить до більшого падіння інтенсивності світла, яке вимірюється на кінці приймаючого світловоду. За допомогою відповідного фотодетектора інтенсивність світла перетворюється на електричний сигнал.

### 2.1.2. Датчик температури

На фоні всіх інших методів, вимірювання температури за допомогою волоконно-оптичних датчиків являється найбільш складним. Принцип дії

волоконно-оптичного датчика температури заснований на температурній залежності інтенсивності різних флуоресцентних ліній деяких люмінофорів. Через систему відображення, яка випускається джерелом УФ-випромінювання фокусується в кварцовому світловоді, кінець якого покритий шаром тефлону. На кінці світловоду знаходиться шар люмінофора товщиною 0,13 мм, який під дією УФ-випромінювання випускає флуоресцентне випромінювання у спектральному діапазоні 500-600 нм. Це випромінювання в результаті знову прямує світловодом в оптичну систему, де з нього фільтрами виділяються дві специфічні лінії. Відношення інтенсивностей цих ліній, яке визначається електронним способом, є монотонною функцією температури в області від -50 до 250°C.

## 2.2. Датчики Фабрі-Перо

Для вимірювання малих переміщень у несприятливих умовах навколишнього середовища використовуються оптичні резонатори Фабрі-Перо, які складаються з двох напіввідбивних дзеркал, розташованих один навпроти одного (рис. 2.3).

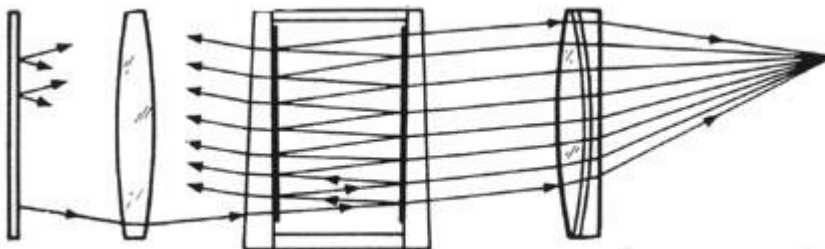


Рисунок 2.3 – Багаторазова інтерференція всередині резонатора Фабрі-Перо. Адаптовано із роботи [11]

Світло в резонатор надходить від джерела з відомими характеристиками, наприклад, від лазера. Фотони, які потрапляють в резонатор, починають стрімко відбиватися від іншого дзеркала та один від одного. В результаті чого, вони починають інтерферувати один з одним. Отже, резонатор відіграє роль саме світлового



накопичувача. За межі резонатора можуть вийти фотони лише певних частот. Зважаючи на це інтерферометр Фабрі-Перо являється частотним фільтром, в якому за допомогою довжини резонатора визначається частота пропускання. При зміні довжини резонатора відповідно змінюються і частота світла, що виходить. Якщо зробити одне з дзеркал рухливим, тоді, при вимірюванні частоти імпульсів світла, що виходить, можна буде визначати дуже малі зміни довжини резонатора [10]. Частота вихідних імпульсів кратна інтервалу  $\Delta\nu$ , обернено пропорційному довжині резонатора:

$$\Delta\nu = c / 2L,$$

де  $c$  - швидкість світла;

$L$  - відстань між дзеркалами.

Для резонаторів, що використовуються на практиці, відстань між дзеркалами становить близько 1 мкм, а типові значення  $\Delta\nu$  лежать в інтервалі 500 МГц - 1 ГГц. Таким чином, за різницею частот вихідного випромінювання та сигналу від еталонного джерела світла можна судити про зміну довжини резонатора з точністю, порівнянною з довжиною хвилі світла. Об'єктом вимірювання може бути будь-яка фізична величина, зміна якої призводить до зміни розмірів резонатора (переміщення дзеркал): наприклад, механічна напруга, сила, тиск і температура. Завдяки своїй універсальності, детектори Фабрі-Перо набули широкого поширення. Наприклад, вони використовуються для вимірювання тиску і температури. Такі датчики детектують зміни довжини оптичного шляху, викликані змінами коефіцієнта заломлення, або зміною фізичної довжини резонатора. Детектори Фабрі-Перо мають мініатюрні розміри та низьку вартість. Іншою перевагою мікродатчиків Фабрі-Перо є те, що для створення інтерференційного сигналу їм підходять практично будь-які когерентні джерела світла.

### **2.3. Поляризаційний детектор наближення**

Використання поляризованого світла дозволяє покращити характеристики оптоелектронних датчиків. Кожен фотон світла має індивідуальні напрямки магнітного та електричного полів, перпендикулярних один одному та напрямки поширення випромінювання. Напрямок електричного поля збігається із напрямком поляризації світла. Більшість джерел світла випромінюють фотони, які мають довільну поляризацію. Для того, щоб світло стало поляризованим, його треба направити на поляризаційний фільтр, виготовлений із спеціального матеріалу, що пропускає фотони тільки одного напрямку поляризації, інші фотони при цьому або поглинаються, або відбиваються. Однак будь-який напрямок поляризації можна представити у вигляді геометричної суми двох ортогональних складових. Одна з цих складових збігається із напрямком поляризації фільтра. Тоді, повертаючи джерело світла, можна поступово змінювати інтенсивність світла на виході фільтра.

Після зустрічі поляризованого світла з об'єктом відбиті промені можуть або зберегти той самий напрямок поляризації (дзеркальне відображення), або змінити кут поляризації. Таким чином, для того щоб реалізувати датчик, який би не реагував на відбивні об'єкти (наприклад, металеві консервні банки, обгортки з фольги і т.д.), в ньому має бути два перпендикулярно спрямовані поляризаційні фільтри, один поруч із джерелом світла, а інший поруч із детектором. Перший фільтр розташовується поряд з випромінюючою лінзою і служить для поляризації променів від джерела світла, а другий - поряд з лінзою детектора, що приймає, його призначення - пропускати тільки компоненти випромінювань, спрямовані під кутом  $90^\circ$  до випромінюваного світла.

Якщо світло відбивається від дзеркальних рефлекторів, напрямок його поляризації не змінюється і, отже, фільтр, що приймає, нічого не пропустить на фотодетектор. Однак, якщо відбувається недзеркальне відображення від об'єкта, частина фотонів, що мають відповідний напрямок поляризації, досягне фотодетектора. Отже, використання вихідних поляризаційних фільтрів дозволяє знизити помилкові спрацьовування при детектуванні неметалічних об'єктів.

## 2.4. Датчик згину

Так як на поведінку автоматизованої системи можуть впливати багато фізичних факторів, необхідною умовою функціонування цієї системи є використання відповідних датчиків, які здатні перетворювати контрольовану величину в зручний для використання сигнал. Для вимірювання кутів згину та деформації переважно використовують тензодатчики та волоконно оптичні датчики деформації. До недоліків таких датчиків можна віднести технічну складність електронно-оптичних компонентів, та відносно високі ціну, що в сукупності можуть впливати на загальну вартість пристроїв, в яких вони використовуються.

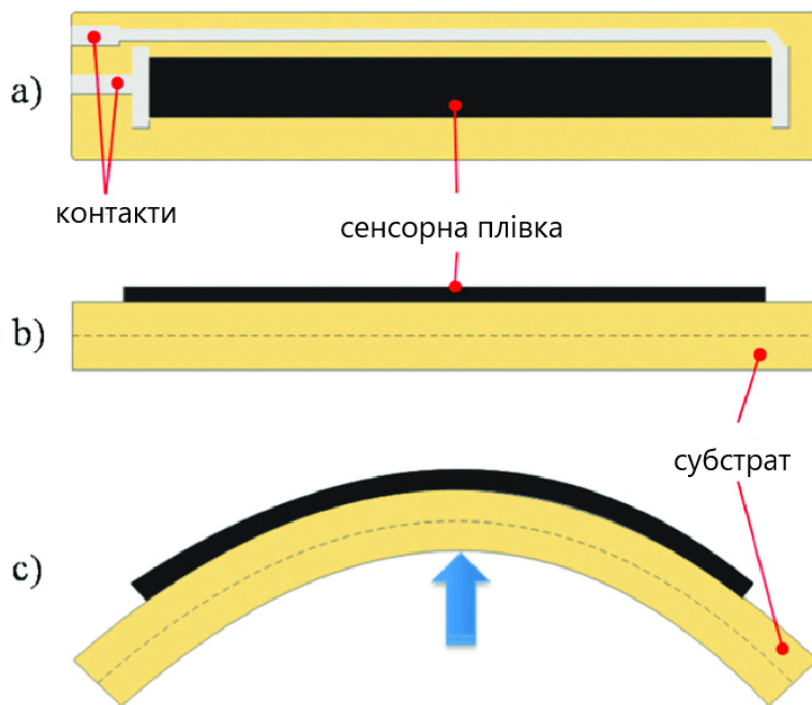


Рисунок 2.4 – Схема резистивного датчика згину. Адаптовано із роботи [12]

Одним із засобів вимірювання радіусу згину може використовуватись оптичний датчик, який складається з гнучкої силіконової трубки, термоусадки, фоторезистора та світлодіода. Світловий потік від світлодіода надходить на фоторезистор по силіконовій трубці, а при її згині потік світла буде падати в меншій кількості, відповідно буде

змінюватись опір на виході фоторезистора. Силіконова трубка є досить еластична і стійка до помірних фізичних навантажень (наприклад випадкових ударів). До переваг використання можна віднести легкість виготовлення датчика різної довжини в залежності від необхідності, його низьку собівартість, довільний радіус згину, відносно непогану лінійність показів, простий термічний спосіб відновлення механічних характеристик. До недоліків можна віднести слабку механічну стійкість, внаслідок відсутності пружних елементів. Даний датчик може використовуватись при вивченні основ робототехніки та для побудови систем автоматичної. Одним із прикладів використання даного датчика може бути “Інтерактивний пристрій корекції постави людини”, в якому датчик може використовуватись в якості оптичного сенсора згину хребта.

## РОЗДІЛ 3

### ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

#### 3.1. Сільське господарство

Існує дуже широкий спектр оптичних датчиків, що застосовуються в сільському господарстві, від датчиків, що використовуються для аналізу атрибутів ґрунту, до датчиків, встановлених у комбайнах для вимірювання вмісту білка в зернах пшениці під час їх збирання. Мова піде про оптичні датчики, які на невеликій відстані можуть вимірювати коефіцієнт відбиття сільськогосподарської культури за допомогою певних довжин хвиль, і як ми можемо використовувати цю інформацію. Просто виходячи з простого факту, що ґрунт і рослини (бур'яни) мають різну взаємодію зі світлом, що випромінюється від датчиків, що дозволяє визначити, що таке ґрунт, а що таке рослина.

На вимірювання в полі може вплинути розташування датчика, наприклад, відстань від посіву, залежність від джерела світла, наявність роси на листках, а також фактори, які можуть викликати стрес для рослин. Джерело світла поділяє датчики на активні та пасивні. Пасивні датчики залежать від сонячного світла, не працюють вночі або можуть показувати різні показники, коли є хмари або тіні. Відстань від цілі до датчика обмежена, оскільки, якщо вона знаходиться занадто близько, датчик може не вловити коефіцієнт відбиття, а якщо воно занадто далеко, дані можуть мати шумові сигнали. А наявність роси може змінити коефіцієнт відбиття як у видимому, так і в ближньому інфрачервоному діапазоні.

Можливо, одним із найцікавіших застосувань оптичних датчиків у сільському господарстві є можливість використовувати географічні координати для створення карт на основі вимірювань відбиття. Точне землеробство засноване на тому, що всі поля мають мінливість. Розуміння цієї мінливості є першим кроком для прийняття рішень про інвестиції в точне землеробство. Багато процедур можна використовувати для характеристики та обробки просторової мінливості щодо врожайності, спрямованої на

отримання прибутку для фермерів, але широке та безпечне бачення впливу мінливості на виробничу систему вимагає точного вимірювання цієї мінливості.

Мінливість ґрунту обумовлена кліматом, рельєфом, рослинністю, процесами ґрунтоутворення, а також управлінням. Ці фактори можуть впливати на мінливість у різних масштабах і спричиняти велику мінливість доступності поживних речовин у ґрунті. Тоді при застосуванні однакових норм добрив майже напевно, що на одних ділянках поля будуть застосовуватися надмірні норми, а на інших – недостатні.

Точне землеробство можна визначити як систему управління, яка враховує просторову мінливість, яка присутня у виробничій сфері, незалежно від розміру та обробляє цю мінливість локально.

Внесення добрив із змінною нормою є одним із варіантів керування змінністю, а створення карт із оптичних датчиків може допомогти реалізувати змінні внесення з азотом.

Оптичний датчик, підключений до приймача ГНСС (Глобальна навігаційна супутникова система), здатний реєструвати значення коефіцієнта відбиття з парою координат (широта та довгота), а коли файл імпортується до програмного забезпечення ГІС (географічної інформаційної системи), можна відобразити вимірювання та його розподіл у полі з картами (рис. 3.1).

Залежно від використовуваної сенсорної системи ця інформація може зберігатися різними способами і типами файлів. Деякі системи, встановлені в сільськогосподарській техніці, дозволяють використовувати ноутбук із програмним забезпеченням, яке буде зберігати показання та координати датчика. Інші системи використовують власний реєстратор даних або кишеньковий комп'ютер. На рисунку 3.1 наведено приклад необроблених даних, зібраних у полі. Кожна смуга знаходиться на відстані близько 24 метрів одна від одної, але те, що виглядає як лінія, насправді є безліччю точок, дуже близьких одна до одної через частоту, яка використовується для збору даних у полі.

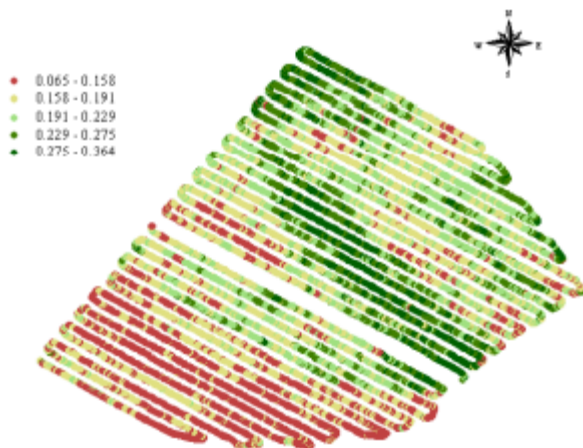


Рисунок 3.1 – Мапа необроблених даних зібраних у полі [13]

Рисунок 3.2 є картою після обробки вихідних даних з кукурудзяного поля. На цих картах видно, що на червоних ділянках рослини кукурудзи мали низький розвиток і через це матимуть нижчу врожайність (менше 10 т/га), а зелені – понад 12 т/га. Ця інформація важлива для користувачів точного землеробства, які зацікавлені в пошуку конкретної проблеми для цього конкретного місця.

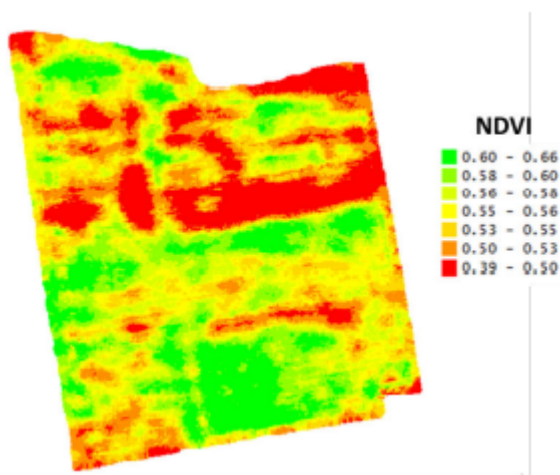


Рисунок 3.2 – Інтерпольована карта поля площею 2,86 га з посівом кукурудзи [13]

Карта, створена, коли врожай кукурудзи ще знаходиться на стадії розвитку, дозволяє фермерам і агрономам повернутися в поле і побачити, що спричиняє таке

повільне зростання рослин. І оскільки інформація зберігається, можна щороку повертатися в одне й те саме місце для порівняння, зібрати зразки ґрунту та рослин, відправити в лабораторію та спробувати зрозуміти, в чому проблема. Це означає, що фермер може обробляти кожну частину поля відповідно до своїх особливостей.

### 3.2. Медицина

Сучасний світ немислимий без високочутливих датчиків, які застосовують у різних галузях промисловості, будівництва, техніки, при видобуванні корисних копалин тощо. Особливий інтерес представляють датчики, що застосовуються у хірургії та медицині загалом. У багатьох випадках це може врятувати життя людини.

Для цих цілей відмінно підходять гнучкі оптичні волокна, які завдяки своїм малим розмірам, можуть проникати в важкодоступні місця людського тіла, використовуючи для просування, наприклад, судини кровоносної системи [14].

Крім застосування оптичного волокна для збирання інформації про стан людського тіла, є можливість використовувати його як канал передачі оптичного випромінювання для впливу на тканини. Також є можливість використання декількох оптичних волокон паралельно, наприклад для поєднання ендоскопії з прицільною (під контролем зору лікарів) біопсією, зондуванням.

Оцінка передбачуваної глибини проникнення лазерного випромінювання в біологічні тканини є важливою для адекватного планування та безпечного здійснення лазерних операцій. Випромінювання з довжиною хвилі 1,06 мкм використовується для впливу на патологічні новоутворення у травному тракті, виконання коагуляції внутрішньо-порожнинних кровотеч, а також лікування венозних вроджених вад у дерматології.

Одним з найважливіших характеристик оптичного волокна у зв'язку зі специфікою використання в медицині є мінімально можливий радіус вигину. Таке значення можна досягти при використанні відносно нової конструкції оптичного



волокна з меншими втратами на вигинах — мікροструктуровані волокна типу HAF (holed assisted fiber). У таких волокнах виконано ідею створення подвійного захисного бар'єру методами нанотехнологій. Навколо кварцевої серцевини по периметру умовного шестикутника розташовуються два кільця з порожніх повітряних наскрізних отворів, що забезпечують повне внутрішнє відображення на межі розділу кварц/повітря. Другий шар потрібен для відображення випромінювання, що частково проникає за межі першої періодичної структури [15].

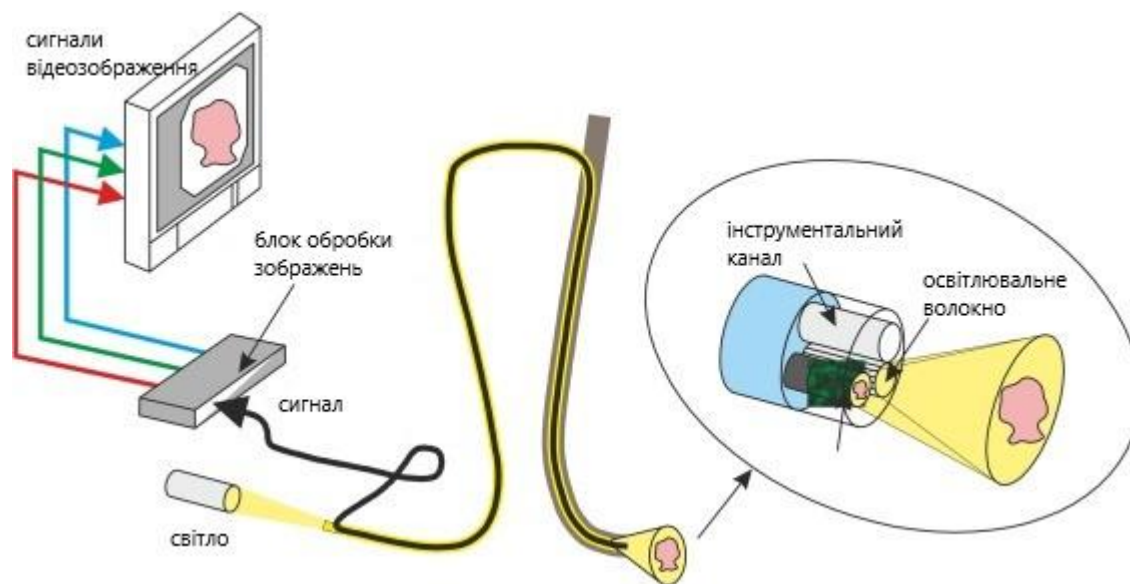


Рисунок 3.3 – Спрощена схема системи відеоендоскопії. Адаптовано із джерела [16]

Перспективи застосування лазерної волоконної техніки в медичній ендоскопії пов'язані не лише з випуском кварцових оптичних волокон з малим радіусом вигину та освоєнням випуску інших типів гнучких світловодів, а й із створенням напівпровідникових лазерів та лазерів на активному оптичному волокні. Активне оптичне волокно при введенні в його серцевину рідкісноземельних іонів може бути використане для посилення або генерації випромінювання. Розроблено технології активування оптичного волокна (метод просочення, осадження з газової фази, аерозольний метод), які допускають легування волокна різними хімічними елементами

(Ho, Tm, Er, Bi, Yb, Nd, Tb та ін). Зміна легуючих елементів або сумісне легування дозволяє перекрити широкий спектральний діапазон випромінювання.

Розглянуті переваги та унікальні властивості волоконних датчиків дозволяють використовувати їх для вирішення найрізноманітніших медичних завдань.

Сучасне розширення ринку волоконних лазерів та розвиток оптоволоконних технологій неухильно веде до широкого впровадження волоконно-оптичних датчиків, поряд з промисловістю та в медицину.

## ВИСНОВКИ

1. У ході виконання кваліфікаційної роботи був здійснений огляд літератури стосовно інформації про різновиди оптичних датчиків, та їх конструкцію на прикладі волоконно-оптичного датчика; встановлено що конструкція оптичних датчиків складається з джерела світла, випромінювача і оптичних елементів.
2. Встановлено що принцип роботи оптичних датчиків відрізняється через різновиди їх складових та різного розташування в оптичній схемі.
3. Здійснений аналіз основних параметрів волоконно-оптичних датчиків показав, що саме оптоволокно є найбільш ефективним матеріалом для передачі сигналу, оскільки воно повністю ізольовано та має меншу вагу, на відміну від коаксіального кабелю.
4. Виявлено, що волоконно-оптичні датчики температури являються найбільш доцільними для використання у промисловості, оскільки діапазон вимірювання температур становить від  $-50$  до  $250^{\circ}\text{C}$  на відміну від інших датчиків такого типу.
5. Вивчені можливості та сфери застосування оптичних датчиків, такі як медицина, аграрна промисловість, електроніка (включаючи гаджети, авто та інше). Продемонстровані необхідність та перспективи розвитку оптичних датчиків в цих напрямках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Optical Sensor Basics | Types of Optical Sensor | Applications of Optical Sensors \(electricalgang.com\)](#) Optical Sensor Basics. Дата доступу 23.05.2022.
2. <https://www.elprocus.com/optical-sensors-types-basics-and-applications/> Optical Sensor Basics and Applications. Дата доступу 02.06.2022.
3. Haus, J., 2010. Optical sensors. Weinheim: Wiley-VCH, p.189.
4. Ramamurthy, V. and Schanze, K., 2001. Optical sensors and switches. New York: Marcel Dekker, p.519.
5. Helmenstine, Anne Marie, Ph.D. "The Visible Spectrum: Wavelengths and Colors." ThoughtCo, Aug. 28, 2020.
6. Deen., Jamal, M., Kumar. and Shiva., 2014. Optical Communication Systems. Chennai: John Wiley & Sons, p.571.
7. R.G. Jackson, Novel Sensors and Sensing, Published December 2, 2019 by CRC Press, 310 Pages.
8. Luís Santos, J., 2015. Handbook of optical sensors; ed. by jose luis santos. BOCA RATON: CRC Press.
9. [Optical Level Sensors | Research and Buy Optical Liquid Level Sensors \(fluidswitch.com\)](#) How do optical level sensors work? Дата доступу 02.06.2022.
10. Fraden, J., 2010. Handbook of modern sensors. New York, NY: Springer, p.592.
11. [Course # 10: Module 5: Fabry-Perot Interferometers \(philpem.me.uk\)](#) Fabry-Perot interferometers. Дата доступу 28.05.2022.
12. Saggio, Giovanni & Riillo, Francesco & Sberini, Laura & Quitadamo, Lucia. (2016). Resistive flex sensors: A survey. Smart Materials and Structures. 25.
13. Yasin, M & Harun, S & Arof, H (eds.). 2014, Optical Sensors - New Developments and Practical Applications, IntechOpen, London.
14. López-Higuera, J., 2002. Handbook of optical fiber sensing technology. New York: Wiley, p.855.
15. Toward Optical Sensors: Review and Applications To cite this article: Naseer Sabri et al 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 423 012064.
16. Bielecki, Zbigniew & Stacewicz, Tadeusz & Wojtas, Jacek & Mikolajczyk, Janusz & Szabra, Dariusz & Prokopiuk, Artur. (2018). Selected optoelectronic sensors in medical applications. Opto-Electronics Review.