МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка оптоволоконної знезаражувальної системи

Виконав: студент II курсу, групи 8.1764
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

_____ Д. В. Павленко
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н., Світанько М.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, професор, д.т.н., Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Факультет _____
Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Спеціальність *176 «Мікро- та наносистемна техніка»*
(код і назва)
Освітня програма *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т.В.
"____" _____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Павленку Денису Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) *Дослідження та розробка оптоволоконної знезаражувальної системи*

керівник роботи *Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "*27*" *лютого 2025 року №* *313-с*

2 Строк подання студентом роботи *01 грудня 2025 року*

3 Вихідні дані до роботи *260-280 нм, УФ світлодіод, U=±15 В, U=±5 В, Proteus, Multisim*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*1. Оптоволоконні системи, та їх практичне використання 2. Розробка оптоволоконної знезаражувальної системи 3. Техніко – економічне обґрунтування 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи*

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Оптоволоконні системи 2. Структурна схема оптоволоконної знезаражувальної системи 3. Оптична схема системи 4. Розрахунок параметрів оптичної схеми системи 5. Джерело випромінювання оптоволоконної знезаражувальної системи 6. Схема підключення LED-драйвера до джерела живлення 7. Контроль параметрів випромінювання

8.Електрична схема підключення зовнішніх пристроїв до мікроконтролера
9.Модель підключення світлодіодів до мікроконтролера

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	*Світанько М.В., доцент*	*28.02.2025*	*28.02.2025*
II	*Світанько М.В., доцент*	*28.02.2025*	*28.02.2025*
III	*Світанько М.В., доцент*	*28.02.2025*	*28.02.2025*
IV	*Світанько М.В., доцент*	*28.02.2025*	*28.02.2025*

7 Дата видачі завдання *28 лютого 2025 року*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Літературний огляд*	*23.04.2025*	
2	*Розрахункова частина*	*20.10.2025*	
3	*Техніко-економічне обґрунтування розробки*	*20.11.2025*	
4	*Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки*	*20.11.2025*	
5	*Розробка графічної частини роботи*	*25.11.2025*	
6	*Оформлення пояснювальної записки*	*01.12.2025*	
7	*Нормоконтроль*	*01.12.2025*	
8	*Попередній захист роботи*	*05.12.2025*	

Студент _____ *Павленко Д.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Світанько М.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 86 сторінок, 32 рисунка, 14 таблиць, 44 джерела літератури.

Об’єкт дослідження – оптоволоконні біомедичні інформаційні системи.

Мета роботи – дослідження та розробка оптоволоконної знезаражувальної системи.

Завдання роботи – розробити структурну схему оптоволоконного пристрою для знезараження локальних об’єктів малого розміру УФ випромінюванням; провести моделювання роботи функціональності системи за допомогою сучасних САПР електронних схем.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, Multisim.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено структурну схему пристрою безпосереднього підведення УФ випромінювання до зони зараження за допомогою кварцового оптоволокна, проведено моделювання роботи системи за допомогою сучасних САПР електронних схем. Результати впроваджень – система обговорювалась на Всеукраїнських науково-практичниї конференціях.

Прогнозні пропозиції – використання системи в сучасних біомедичних комплексах.

УЛЬТРАФІОЛЕТ, ОПТОВОЛОКНО, СВІТЛОДІОД ФОТОДІОД МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 28.02.2025 р. по 01.12.2025 р.

Вступ

У системі протиепідемічних заходів саме створення несприятливості населення до інфекційних хвороб займає одне з найбільш важливих місць. Специфічна профілактика (імунопрофілактика) інфекційних захворювань є традиційним науково обґрунтованим засобом зниження захворюваності та ліквідації інфекційних захворювань. Стратегія ВООЗ щодо зниження смертності та захворюваності на інфекційні хвороби, насамперед серед дітей, передбачає обов'язкове впровадження ефективної специфічної імунізації населення. Виконання програм імунізації привело до значних успіхів у боротьбі з інфекційними хворобами.[1,2].

Сьогодні одним з найбільш поширених методів знезараження вважається ультрафіолетове (УФ) знезаражування [1]. У будь-якому відкритому джерелі можуть жити хвороботворні бактерії. Всі хвороботворні мікроорганізми, бактерії і віруси, що містяться у воді, тільки тоді зможуть завдати шкоди людському організму, якщо будуть інтенсивно розмножуватися. Але ультрафіолетове знезараження позбавляє їх такої можливості, тому негативний вплив мікроорганізмів зводиться до нуля. Для УФ знезараження сьогодні застосовуються хвилі досить вузького діапазону – від 250 до 270 нм. У цих рамках бактерицидна дія ультрафіолету набуває своє максимальне значення. Велика частина установок по знезараженню води ультрафіолетом використовує лампи низького ртутного тиску, які виробляють випромінювання довжиною в 260 нм, тобто оптимальну довжину хвилі [3].

Але, використання таких систем для знезараження невеликих за розмірами об’єктів є нераціональним, і навіть небезпечним. Тому актуальною є потреба у системах знезараження із невеликими габаритами та ефективним джерелом УФ випромінювання [1].

1. Оптоволоконні системи, та їх практичне використання

1.1 Загальна інформація

Принцип передачі світла усередині оптоволокна був вперше продемонстрований за часів королеви Вікторії (1837–1901), але розвиток сучасних оптичних волокон почався в 1950-х. Їх почали використовувати у зв'язку дещо пізніше, в 1970-х; з цього часу технічний прогрес значно збільшив діапазон застосування та темп розповсюдження оптичних волокон, а також зменшив вартість систем оптоволоконного зв'язку [4-6].

Відповідно до фізичних властивостей оптоволокна необхідні спеціальні методи для їх з'єднання з устаткуванням. Оптоволокна є основним елементом для різних типів волоконо-оптичних кабелів, залежно від того, де вони використовуватимуться [4-6].

Практичне застосування, таке як напрямлене освітлення у ротовій порожнині під час стоматологічних процедур, з'явилось на початку XX століття. Передача зображень по трубках була застосована незалежно вченим, що експериментував з радіохвилями, Кларенсом Ханселом та телевізійним першопроходцем Джоном Логі Бейрдом у 1920 роках. Цей ефект вперше було застосовано для внутрішнього медичного обстеження Гайнріком Ламмом протягом наступного десятиліття. У 1952 році фізик Нерайндер Сайнг Капані провів експеримент, що призвів до винаходу оптичної волосини. Сучасне оптоволокно, де скляна волосина поміщена у прозору оболонку із метою приведення коефіцієнту відбиття до практичного рівня використання, появилося на світ пізніше. Після цього всі розробки сконцентрувалися на жмутах оптичних волокон, пристосованих для передачі зображення. Перший оптичний напівгнучкий гастроскоп був запатентований у 1956 році Безілем Айзеком Хиршовицим, Сі Уілбером Пітерзом, та

Лоренцом І Куртізом, які були дослідниками Університету Мічигану. У процесі розробки гастроскопу, Куртіз уперше застосував скляний світловід в оболонці. Перші зразки оптоволокна використовували повітря та непрактичні олії і віск, як оболонку із низьким показником заломлення. Незабаром з'явилась ціла низка інших застосувань, пов'язаних із передачею зображень [4-7].

Оптоволокна для телекомунікаційних цілей (наприклад, для діагностики лікарем шлунку пацієнта та забезпечення зв'язку у межах короткого радіусу) були вперше використані в Західній Європі наприкінці 19-го та на початку 20-го століття. Особливо помітно, що передача зображень оптичними волокнами набула популярності на початку 21 століття через збільшення попиту в медичній та телевізійній галузях [4-7].

Також повідомлялось, що японський учений від Університету Тохоку Джюнічі Нішізавою запропонував застосування оптичного волокна у сфері зв'язку ще у 1963 році, як було зазначено в книжці, надрукованій у 2004 році в Індії. Нішізава винайшов інші технології, що сприяли вдосконаленню оптоволоконних комунікацій більшою мірою. Згодом він відкрив оптичні градієнтні світловоди, як канал передачі світла від напівпровідникового лазера [4-6, 8,9].

Вирішальний момент стався десь 1965 року, коли Чарльз К. Коу та Джордж А. Гокхем з британської компанії "Standard Telephones and Cables" вперше просунули ідею зменшення загасання в оптоволокні до показника, нижчого від 20 dB/km, таким чином ввівши оптичні кабелі у зону практичного застосування для телекомунікаційних мереж. Вони стверджували, що загасання спричинялося швидше домішками, здатними бути вилученими у волокні, доступному в той час, аніж фундаментальним фізичним законом розсіювання. Вони правильно та послідовно теоретизували про зміну властивостей світла у середовищі оптичного волокна, та підказали матеріал, придатний для його виробництва —- кварцове скло із

високим показником чистоти. Це відкриття привело Коу до отримання Нобелівської Премії в області фізики у 2009 році [4-6, 8,9].

Принциповий рівень загасання у 20 dB/km був досягнутий вперше в 1970 році дослідниками Робертом Д. Морером, Дональдом Кеком, Пітером С. Шульцом, та Франком Зімаром, що працювали в американській скловарні «Corning Glass Work». Тепер це підприємство називається Corning Incorporated. Вони застосували світловід із рівнем згасання в 17 dB/km, у якому кварцове скло містило домішки титану. Кількома роками пізніше, вони створили оптоволокно з рівнем загасання в 4 dB/km, використовуючи діоксид германію як основу домішки. Настільки низьке загасання надало імпульсу телекомунікаціям з використанням оптичного волокна, та зробило Інтернет доступним. В 1981 році General Electric випустив сплавлений злиток кварцу, що був придатним для витягування в нитку довжиною 40 км [4-6, 8,9].

Загасання в сучасному оптоволоконному кабелі є значно меншим, ніж у мідному електричному, що вплинуло на розвиток ліній телекомунікаційних передач довжиною 70-150 км. Оптоволоконний підсилювач з домішками ербію, що суттєво зменшує вартість оптоволоконних систем великої довжини шляхом зменшення кількості чи, навіть дуже часто, цілковитого вилучення із схеми оптично-електронних повторювачів, був розроблений Девідом Н. Пейном з Університету Саусхамтона та Емануелем Дезервіром із Бел Лабс у 1986 році. В досконалому волокні застосування якісного скла для серцевини та оболонки підвищує стійкість до процесів старіння. Винахідник Герхард Берніз, що звернув на це увагу, в 1973 році був задіяний німецьким підприємством Скот Глес [4-6, 8,9].

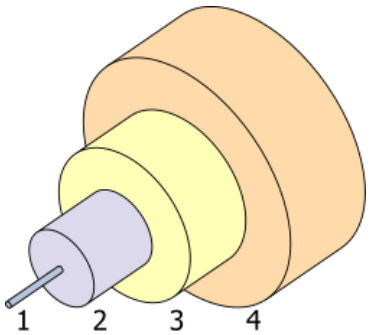
В 1991 році із перспективного щойно виниклого технологічного напрямку фотонних кристалів, було започатковано розробку однойменних світловодів, що проводили світло завдяки дифракційним явищам на періодичній структурі матеріалу швидше, ніж шляхом повного внутрішнього відбиття. Перше фотонне кристалічне волокно стало комерційно доступним у 2000 році. Таке оптоволокно є потужнішим, ніж звичайне, а його

світлопровідні частотні властивості можуть бути контрольовані за потребою з метою покращення ефективності певних застосувань.

Дослідники з дослідницького інституту NICT Network System і компанії Fujikura Ltd, фахівці якої розробили новий тип триканального оптичного волокна, провели експеримент, під час якого було досягнуто швидкість передачі інформації в 159 терабіт в секунду на відстань +1045 кілометрів. У звичайних умовах затримки при використанні багатомодового оптоволокна заважають одночасно отримувати високі швидкості передачі і здійснювати передачу на великі відстані. І це досягнення є свого роду демонстрацією нового методу подолання обмежень [4-6, 8,9].

1.2 Принцип роботи оптичного волокна

На рисунку 1.1 представлена структура типового одномодового волокна [4-6, 8,9].



1. Серцевина: 8 µm діаметр
2. Оболонка: 125 µm діаметр
3. Буфер: 250 µm діаметр
4. Обшивка: 400 µm діаметр

Рисунок 1.1 - Структура типового одномодового волокна.

Оптичний світловод — це циліндричний діелектричний хвилевід, що передає світло від одного до другого кінця усієї своєї довжини завдяки фізичному явищу повного внутрішнього відбиття. Світловід складається із серцевинного та оболонкового шару, які виготовленні із матеріалів, що забезпечують утримування світла всередині кабелю. Для забезпечення функціонування даної системи діелектриків, необхідно мати показник заломлення серцевини більший, ніж оболонки. А також, границя двох середовищ може бути нецілісною, як у волокон зі сходинковим профілем серцевини, чи згладженою, як у волокон з градієнтним профілем серцевини [4-6, 8,9].

Структура оптоволоконного кабелю дуже проста й схожа на структуру коаксіального електричного кабелю. Проте, замість мідної серцевини тут використовується тонке скловолокно, а замість внутрішньої ізоляції —- скляна або пластикова оболонка, що не дозволяє світлу виходити за межі збірки. У цьому випадку мова йде про режим так званого повного внутрішнього відбиття світла від границі двох речовин із різними показниками заломлення (у скляної оболонки показник заломлення значно нижче, ніж у центрального волокна) [4-6, 8,9].

Показник заломлення — це відношення швидкостей світла у вакуумі та матеріалі, до якого належить даний показник. Промінь світла подорожує у вакуумі найшвидше за все зі швидкістю, близькою 300 000 км/сек, а у діелектрику — повільніше. Це залежить від властивостей матеріалу. Тому показник заломлення для складових оптоволокна завжди більший від одиниці. Типове значення показника заломлення для оболонки становить 1.46, а для серцевини — 1.48. Чим більший показник заломлення в речовині — тим швидкість променю в ній нижча. Із вищезгаданого очевидно, що оптичний комунікаційний сигнал буде проходити приблизно 200 000 км/сек. Або, якщо сформулювати по-іншому: 1000 кілометрів сигнал пройде за 5 мсек.

В основі функціювання оптовокна лежить принцип повного внутрішнього відбиття (ПВВ) (рисунок 1.2) [4-6, 8,9].

[

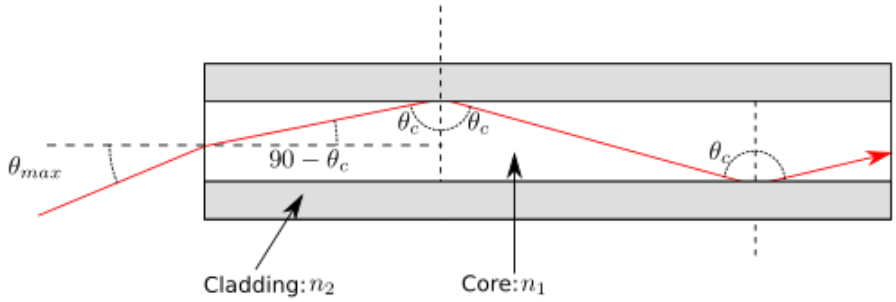


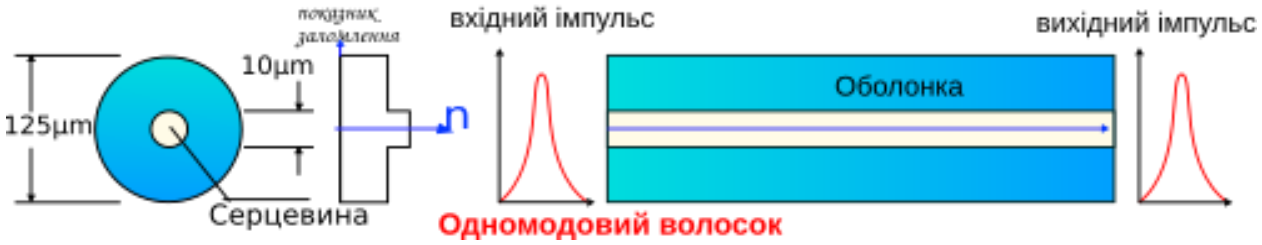
Рисунок 1.2 - Траєкторія несучої світлового променя в оптичній волосині у випадку ПВВ

Коли промінь, що подорожує в оптично густому матеріалі, натикається на перешкоду під кутом падіння, більшим ніж критичний для даного матеріалу, то світло буде повністю відбите. Цей ефект використовується в оптичному волокні для утримування світлового випромінення у межах його серцевини. Воно поширюється вздовж волоска, відбиваючись вперед та назад від границі розділу двох складових кабелю. По причині того, що промінь повинен впасти на межу розділу під певним нахилом, що є більшим за критичний кут, то тільки світло, яке увійшло у систему у межах певного діапазону напрямків, може пройти через все волокно без просочування за його межі. Вказаний діапазон напрямків називається конусом утримування волокна. Розмір конуса утримування є функцією різниці показників заломлення матеріалів серцевини та оболонки оптичної волосини.

Іншими словами, існує максимальний кут відносно осі оптоволокна, під яким світловий промінь може увійти у середовище кабелю та просунутися вздовж його серцевини. Синус максимуму цього кута є цифровою апертурою (NA) волокна. Волокно із великим NA не потребує високої точності його зрощування, і може функціонувати із іншим волокном, що має малий NA. Одномодові оптичні світловоди мають незначний NA[4-6, 8,9].

1.3 Типи оптоволокна

Одномодове волокно (рисунок 1.3) [8-10].



Рисунокк 1.3 - Розповсюдження світлових променів через одномодові оптичні світловоди.

Оптичні світловоди із діаметром серцевини розміром приблизно одної десятої довжини базової світлової хвилі, не можуть бути змодельованими використовуючи теорію геометричної оптики. Натомість, вся структура має бути розглянута із точки зору класичної електродинаміки, застосовуючи формули Максвелла, що приведені до розв'язку рівняння розповсюдження електромагнітних коливань. Також, такі фізичні явища як спекли, що виникають за рахунок розповсюдження когерентного випромінення у багатомодових волокнах, теж мають бути обґрунтовані як наслідок теорії Максвелла. На зразок оптичного хвилеводу, світловід підтримує один чи декілька локалізованих поперечних мод, у границях яких світло просувається вздовж. Волокно, що працює тільки в одному режимі, називається одномодовим, чи одномодовим. Поведінка оптичних світловодів із значним розміром серцевини теж може бути змодельована за допомогою хвильових рівнянь, що у результаті демонструє їх здатність до пропускання світла у кількох режимах, або модах. Звідси походить і назва типів оптоволокна. Коли серцевина волоска достатньо велика для забезпечення пролонгації світлових променів у кількох

модах, то математичні розрахунки згідно з теоріями Максвела і геометричної оптики приблизно збігаються [8-10].

Аналіз хвилеводу показує, що променista енергія у волокні не повністю зосереджена у межах серцевини. Натомість, найхарактернішим для одномодових світловодів, значна її порція подорожує в прив'язаній моді у середовищі оболонки як еванесцентна хвиля.

Найбільш розповсюджений тип одномодового волокна має діаметр серцевини 8-10 мікрометрів та спроектований для використання світла близького до інфрачервоного діапазону спектру. Структура моди залежить від довжини хвилі світла, залученого у процесі роботи, таким чином світловод фактично підтримує незначну кількість додаткових мод у видимій частині спектру світла. Багатомодове оптоволокно, для порівняння, виготовлено із діаметром центральної жили поперечного розміру щонайменше 50 мікрометрів, та що найбільше сотні мікрометрів. Нормалізована частота V для волоска має бути не більше ніж нульовий член степеневого ряду функції Бесселя J_0 (приблизно 2.405) [8-10].

Багатомодове волокно (рисунок 1.4) [8-10].

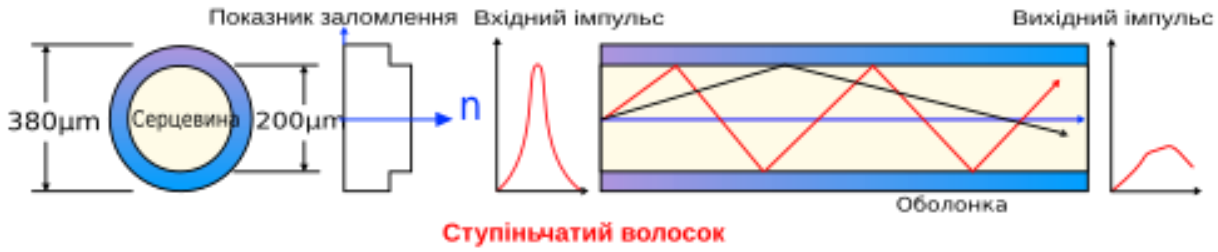


Рисунок 1.4 - Розповсюдження світлових променів через багатомодові оптичні світловоди.

Оптичне волокно із великим діаметром серцевини (більше 10 мікрон) може бути розраховане за допомогою методів геометричної оптики. Таке волокно називається багатомодовим. Сходинкове багатомодове волокно проводить

промені світла вздовж серцевини завдяки ефекту повного внутрішнього відбиття. Промені, що падають на межу розділу компонентів волосини під стрімким кутом, більшим ніж кут повного внутрішнього відбиття, зазнають цілковитого відображення. Промені що стикаються із границею під малим кутом заломлюються у напрямку від серцевини до оболонки, а далі поглинаються і не передають інформацію. Значна цифрова апертура дає світлу пропагуватися вздовж волокна завдяки променям, що розташовані близько до осі, а також під різноманітними кутами, дозволяючи ефективне компонування пучка випромінення у світловоді. Проте попри все, ця цифрова апертура збільшує дисперсію, оскільки промені що подорожують під різними кутами проходять відрізки шляху різної довжини. Це, у кінцевому результаті, впливає на кількість часу необхідного для перетину загальної заданої довжини кабелю.

Градієнтне волокно (рисунок 1.5) [8-10]

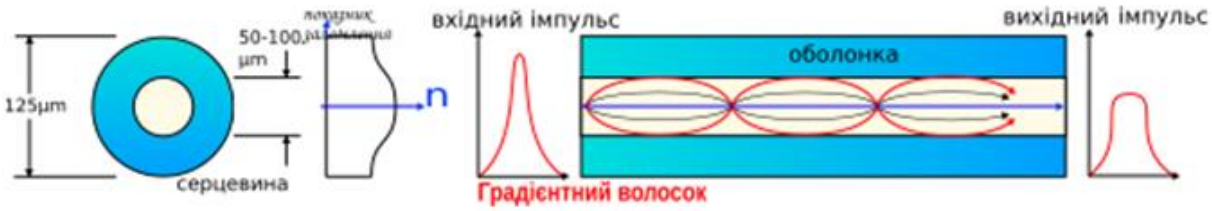


Рисунок 1.5 - Розповсюдження світлових променів через градієнтні оптичні світловоди.

У градієнтному волокні показник заломлення у серцевині зменшується поступово від осі до зовнішньої стінки волокна. Це змушує промені світла вигинатися дугою при наближенні до оболонки, на відміну від несподіваного відображення на межі розділу компонентів волокна. Як наслідок, дугоподібний шлях просування зменшує багатовекторну дисперсію розповсюдження, тому що промені під значними кутами проходять через ділянку серцевини із малим показником заломлення швидше, ніж під

великим. Профіль градієнту заломлення вибирається так, щоб мінімізувати різницю між продовжною швидкістю пролонгації променів різної векторної направленості у волокні. Ідеальний профіль градієнту заломлення є дуже близький до параболічного при співвідношенні самої величини та відстані до осі.

Полярно-стабільне волокно [8-10].

Полярно-стабільні волокна мають спеціальні застосування, як оптоволоконне зондування, інтерферометрія та розповсюдження квантових кодів. Загально прийнятно, що вони також використовуються для сполучення лазерного джерела світла та модулятора, оскільки сам модулятор вимагає подачі поляризованого світла. Проте, для зв'язку на довгих відстанях полярно-стабільні волокна не експлуатуються, через підвищений рівень загасання сигналу в порівнянні із одномодовими волокнами.

Полярно-стабільне оптоволокно не поляризує світло на зразок поляризатора. Скоріше, воно утримує наявну поляризацію лінійно поляризованого світлового променя, що вводиться у волокно за умови правильної орієнтації. Якщо поляризація вхідного світлового потоку не налаштована до ладу із добре вираженим пропускним напрямком в самому світловоді, то вихідний сигнал буде визначатися в межах лінійної та кругової поляризації. Такі параметри подачі світла дають на виході еліптичну поляризацію в загальному випадку. Проте, точні її характеристики залежатимуть від зміни температури та стресу оптоволокна.

Фотон-кристалічне волокно [8-10].

Фотон-кристалічне оптоволокно — новий клас оптичних світловодів, які працюють завдяки властивостям фотонних кристалів. Через неможливість локалізування світла в порожнині порожнистої серцевини та відсутність будь-яких схожих властивостей в традиційному оптоволокні, фотон-кристалічні світловоди зараз набувають широкого застосування в оптичних комунікаціях, волоконних лазерах, нелінійних оптичних пристроях,

трансляції високої потужності, надчутливих газових датчиках та інших пристроях.

Фотонно-кристалічні волокна поділяються на дві категорії згідно з механізмом взаємодії зі світлом. Ті, що мають суцільну серцевину, чи серцевину із показником заломлення вищим, ніж мікроструктурна оболонка, можуть оперувати згідно з тим самим принципом, що і звичайне оптоволокно. Проте, вони матимуть значнішу різницю показників заломлення серцевини та оболонки, що сприятиме ефективнішій локалізації випромінювання у випадку нелінійних оптичних пристроїв. Інша категорія — це волокно із фотон-спектральним зазором, в якому світло утримується завдяки мікроструктурній оболонці. Якщо спектральний зазор підібраний правильно, то світловим потоком можна керувати в частині серцевини із низьким показником заломлення, або навіть цілковито пустотілій, заповненій повітрям. Спектрально-щілинні волокна із відсутньою серцевиною потенційно можуть вирішити проблему, створену обмеженнями доступності необхідних матеріалів для виготовлення світловоду. Для прикладу, можна створити волокно, що проводить світло із довжиною хвилі, для якої прозорі матеріали відсутні. Ще одне потенційно важливе застосування — динамічне вприскування речовини у світловід. В такий спосіб можна аналізувати присутність якоїсь субстанції у вибраному зразку [8-10].

1.4 Особливості практичного використання [11-13]

У практичному використання оптоволокна оболонка ґрунтується тривкими смолами буферного прошарку, який також може бути загорнутий у захисний шар. Ці прошарки додають міцності окремим волокнам, але не впливають на оптичні якості світловода. Вимогливі оптоволоконні збірки деколи включають світлопоглинаюче скло між окремими пучками для запобігання просочуванню світла із одного каналу передачі у інший. Це

зменшує взаємні перешкоди, та знижує спалахи у пучках волокон при передачі зображень.

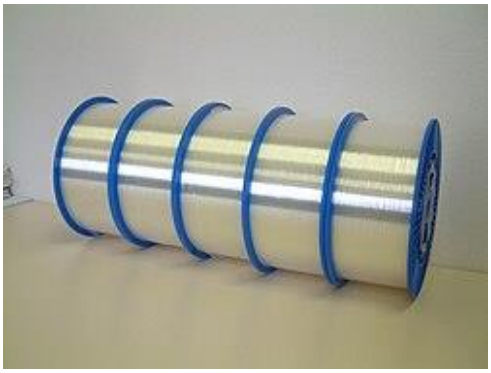
У дев'яностих роках установка чіпок на оптоволокно була досить трудомісткою операцією. Кількість конструктивних елементів на один рознім, полірування волокна, необхідність температурної обробки смол у печі для кожної заківки ускладнювала таку роботу. Сьогодні багато типів рознімів що продаються на ринку дозволяють робити це саме із значно меншими затратами. Деякі дуже популярні роз'єднувачі стабілізовані ще з виробничого майданчика, та включають смолу, як елемент конструкції. Ці дві речі дозволяють зменшити затрати праці, особливо під час роботи над великими проектами (рисунок 1.6) [11-13]

Оптоволокна широко використовуються для освітлення. Вони застосовуються як світлопроводи в медичних та інших цілях, де яскраве освітлення необхідно завести в важкодоступну зону. У будівлях оптоволокна йдуть у вжиток для позначення маршруту з даху в іншу частину будівлі [11-13]

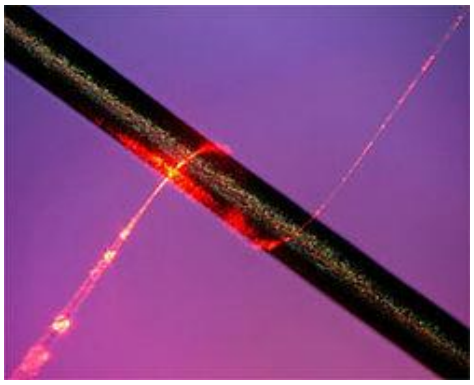
Оптоволоконне освітлення також вживається в декоративних цілях,включаючи комерційну рекламу, мистецтво і штучні ялинки.

За допомогою оптоволокна формується зображення. Когерентний пучок, що проводиться оптоволокном, іноді застосовуються разом з лінзами — наприклад, в ендоскопі, за допомогою якого проглядаються об'єкти через маленький отвір [11-13].

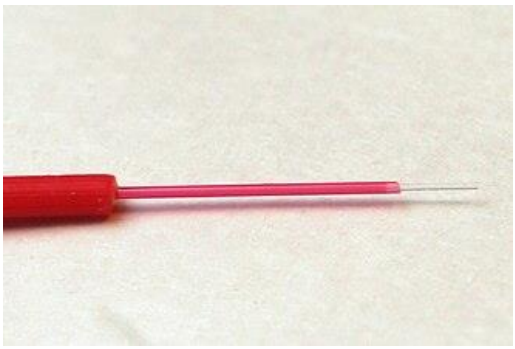
.



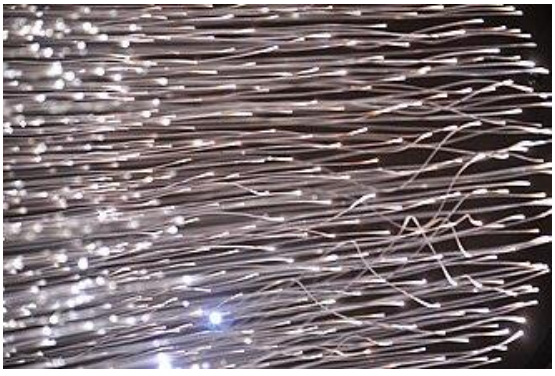
а)



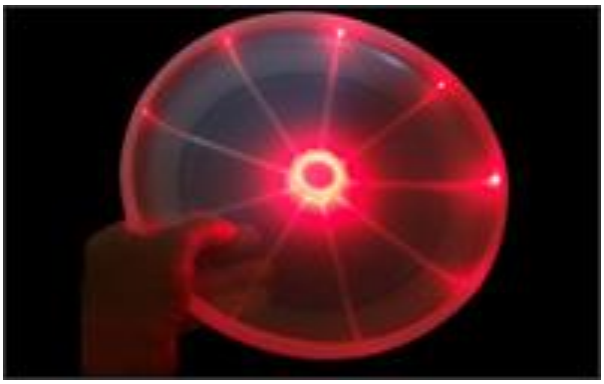
б)



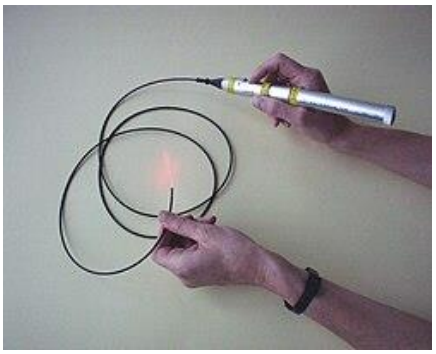
в)



г)



д)



е)

Рисунок 1.6 – Практичне використання оптичного волокна: а - котушки оптоволокна; б - нитка світла; в - кабель одномодового волокна; г - пасма променів; д - літальний диск; е - лазерне джерело світла та оптоволокно.

Окрім специфіки оптоволоконних технологій, у розроблваному пристрої проблемною задачею є створення ефективного джерела УФ випромінювання. Воно повинно мати невеликі розміри, достатню випромінювальну потужність для знезаражувального ефекту, відповідну ефективну спектральну характеристику, мативідносно невелику вартість.

Найбільш привабливими для вказаних критеріїв на сьогодні є напівровідникові потужні світлодіоди УФ діапазону випромінювання [6,14]. Але проблемою таких пристроїв є стабільне за електричними пареметрами джерело живлення і система реєстрації потужності випромінювання [6].

Тому, метою оботи є дослідження та розробка оптоволоконної знезаражувальної системи.

Для досягнення мети виконати наступні завдання:

1) провести аналіз стану оптоволоконних технологій для обрання ефективного матеріалу системи;

2) проаналізувати схеми сучасних потужних УФ світлодіодів , обрати найбільш ефективну;

3) розробити структурну схему пристрою;

3) провести моделювання основних функціональних блоків пристрою за допомогою САПР електронних схем;

4) провести техніко-економічний розрахунок системи, що розробляється;

5) розробити заходи із норм дотримання умов безпеки праці та техногенної безпеки.

2. Розробка оптоволоконної знезаражувальної системи

2.1 Структурна схема оптоволоконної знезаражувальної системи

Для вибору ефективної структурної схеми розроблюваної системи знезараження слід урахувати різні механізми дії УФ випромінювання на біологічні об’єкти [15-17].

Механізм біологічної дії УФ опромінювання дуже складний і своєрідний, він зводиться не тільки до вітамінізації, а треба враховувати також безпосередній вплив випромінювання на нервові рецептори і утворення високоактивних продуктів білкового походження, що надходять у кров і діють на різні регуляторні механізми, в першу чергу, на центральну нервову систему.

Позитивний ефект при однакових добових дозах УФ опромінення тим вищий, чим менша його густина і більша тривалість.

Випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 200 - 280$ нм викликає сильну бактерицидну дію, використовується для обеззаражування води, повітря, поверхні приміщень,обладнання, тари і харчових продуктів [15-17].

Для створення бактерицидного і еритемного випромінювань використовуються спеціальні установки з відповідними бактерицидними, еритемними і ртутними лампами, які виготовляються в різних конструктивних виконаннях. Основними елементами установок є лампа, відбивач, елементи кріплення і підводу електричної енергії. На рисунку 2.1 представлена Відносна спектральна ефективність в функції довжини хвилі випромінювання [17].

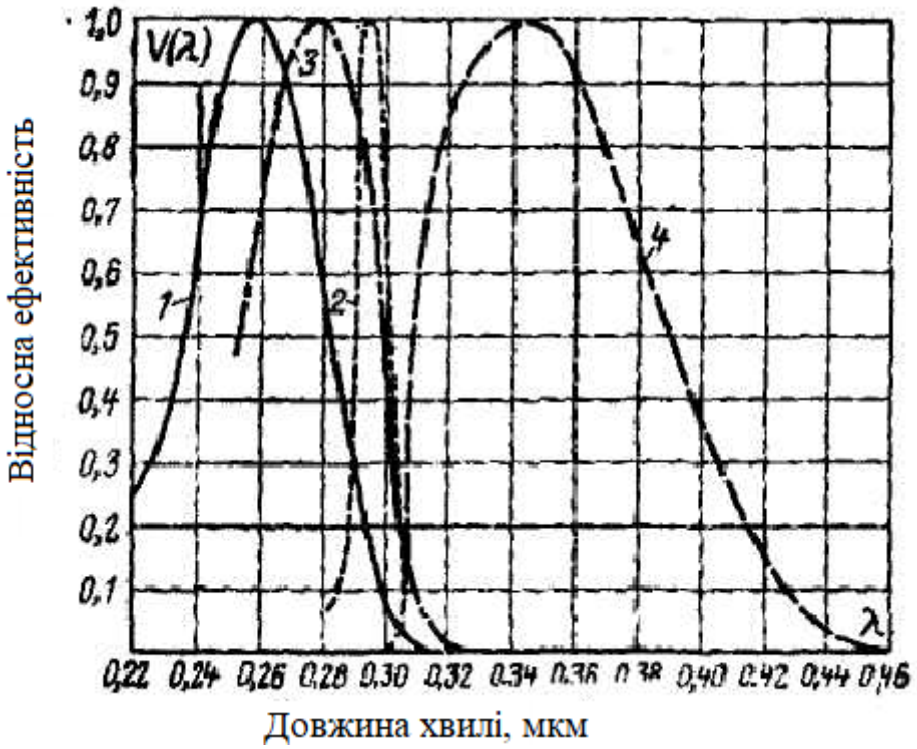


Рисунок 2.1 - Відносна спектральна ефективність в функції довжини хвилі випромінювання: 1 – бактерицидна; 2 – еритемна; 3 – антирахітна; 4 – загарна [17]

Наразі у промислових масштабах та у загально-побутових цілях використовують доволі габаритні і небезпечні установки знезараження (рисунок 2.2) [18].



Рисунок 2.2 – Промислова установка для знезараження води

Принцип роботи подібних установок досить простий: вода, проходячи через корпус фільтра УФ знезаражувача води, омиває кварцовий чохол і

отримує необхідну дозу ультрафіолетового опромінення. Як стає зрозуміло з пристрою установки, кварцовий чохол є необхідним заходом для запобігання попадання води в корпус самої лампи.

Для менш габаритних систем використовують опромінювачі, подібні до стоматологічних [19]. Але застосування таких систем, у білшості, має обмежену просторову здатність до опромінення.

У роботі за основу була обрана концепція опромінювача, представлена у роботі (рисунок 2.3) [19].

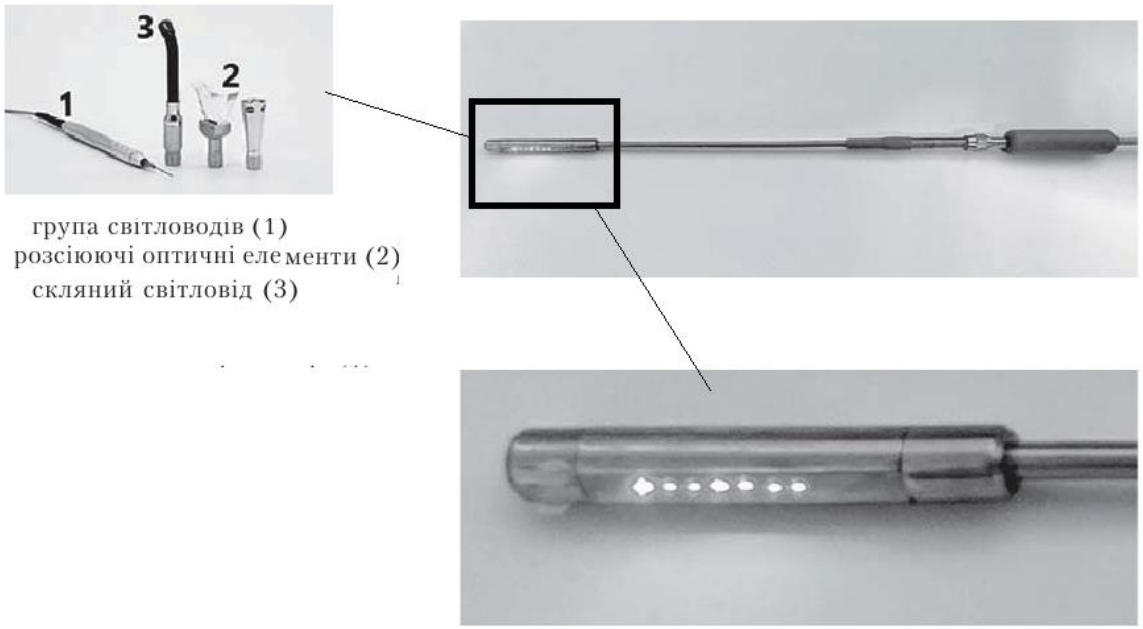


Рисунок 2.3 – Опромінювач системи прототипу [19]

У цій системі використовується технологія фотоактивованої дезінфекції, а не безпосереднє підведення УФ випромінювання до зони зараження.До того ж використовується система пасивних оптичних елементів для збільшення ефективності випромінювання. У якості випромінювача використовувався лазерний діод з довжиною хвилі випромінювання λ=660 нм, потужністю – 2 Вт. Режим роботи - безперервний та імпульсний [19].

Тому, в роботі була запропонована наступна система, структурна схема якої представлена на рисунку 2.4

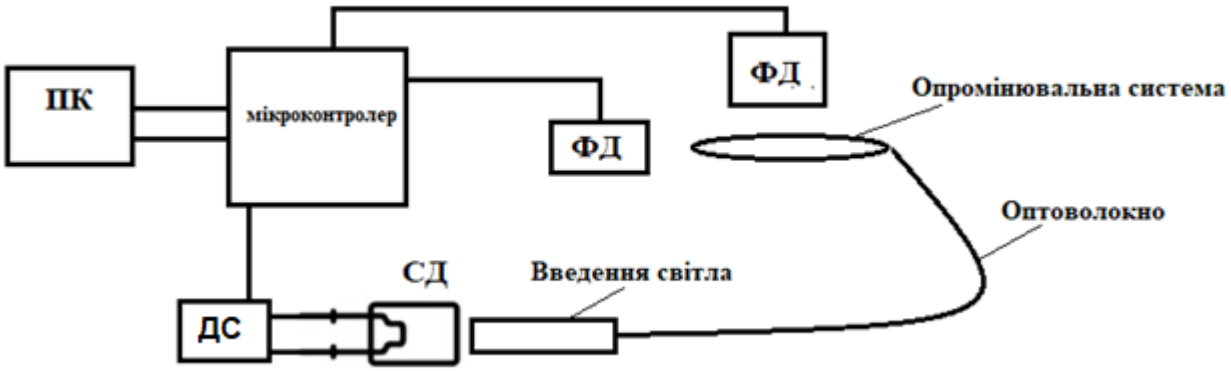


Рисунок 2.4 – Структурна схема оптоволоконної знезаражувальної системи

Схема складається із УФ світлодіода (СД), драйвер світлодіода (ДС), системи введення світла у оптоволокно, кварцевого оптоволокна, системи безпосередньої обробки (опромінювальна система), безпосередній контроль параметрів світлового потоку здійснюється фотоприймачами (ФД), для забезпечення автоматизації роботи схеми використовується мікроконтролер сумісно із персональним комп’ютером.

2.2 Оптична схема системи

2.2.1 Оптоволокно

Основним критерієм вибору оптичного волокна для розроблюваного пристрою була оптична прозорість матеріалу для довжини хвилі УФ випромінювання в діапазоні 250 – 280 нм. Такою оптичною прозорістю володіють оптичні волокна на основі кварцевого скла. На рисунку 2.5 представлена область прозорості кварцевого волокна типу КУ (кварцеве для ультрафіолету) [20, 21].

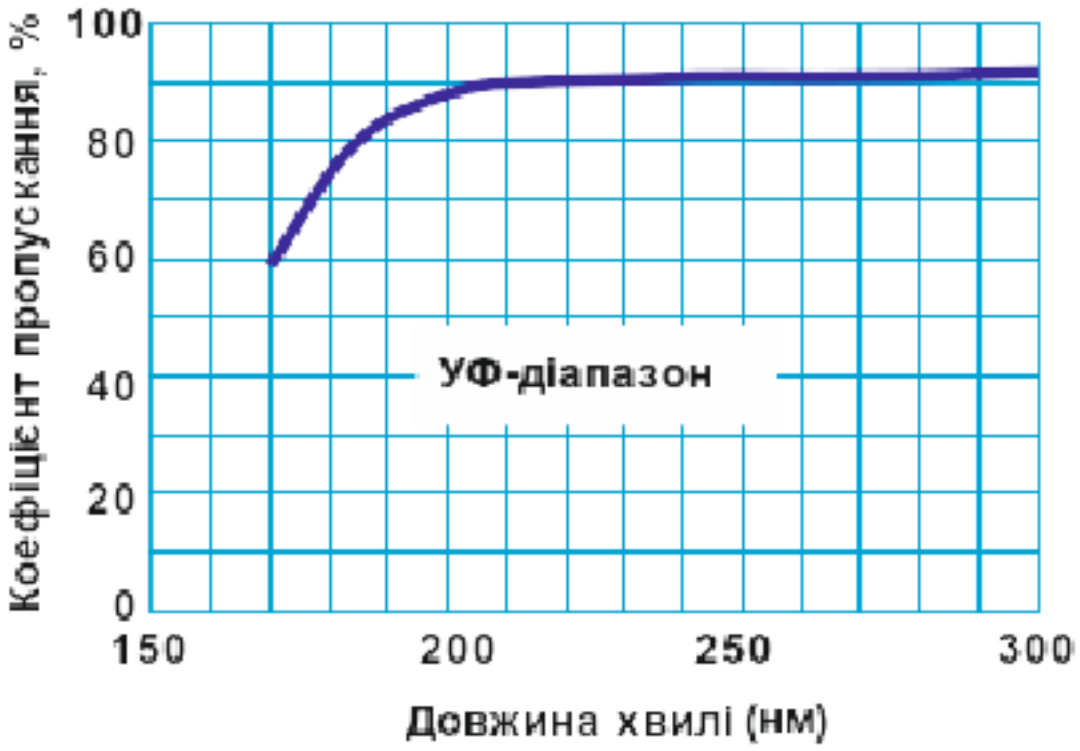


Рисунок 2.5 – Область прозорості кварцового волокна типу КУ

Скло типу КУ виготовляється методом високотемпературного синтезу з тетрахлориду силіцію дуже високого ступеню чистоти. Застосовується в напівпровідниковій техніці, виробництві особливо чистих речовин, атомній енергетиці, оптичному приладобудуванні, астрооптиці, силовій оптиці [20, 21].

Для реалізації поставленої задачі необхідно забезпечити стабільне випромінювання потрібної довжини хвилі та потужності. Модовий склад оптоволокна не розглядається. Тому, для здешевлення розробки, було використано кварцеве світловодне волокно, виготовлене із плавленого кварцу (99.998% SiO_2) з діаметром - 4 мм [22-24]. На рисунку 2.6 представлений фрагмент оповолокна із заготовленим можливим місцем з’єднання із компонентами оптичної лінії.



Рисунок 2.6 – Фрагмент кварцевого світловолокна вироництва компані Transfer Multisort Elektronik [24]

2.2.2 Система введення світла в оптоволокно

Незважаючи на можливі варіанти введення світлового променя у оптоволокно, пропоновані виробниками, для створення ефективної опромінювальної системи необхідно провести детальний розрахунок системи узгодження УФ випромінювача із оптичним каналом.

Розрахунок проводимо для випадку прямого узгодження світловода і джерела випромінювання, для випадку мікролінзи, для випадку сферичної лінзи [25,26].

2.2.2.1 Розрахунок прямого узгодження

При оцінці втрат при методі прямого стикування необхідно враховувати геометричне й кутове він`єтування [25,26].

Методика розрахунку втрат для багатомодового світловода включає наступні розрахункі:

- визначення розмірів перетяжки лазерного пучка по осях ХУ:

$$r_{nx} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \theta_x} \tag{2.1}$$

$$r_{ny} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \theta_y} \tag{2.2}$$

де θ_x , θ_y - кутові розміри індикатриси випромінювання лазера в горизонтальній і вертикальній площинах; λ- довжина хвилі випромінювання.

визначення коефіцієнта геометричного він'єтування:

$$\gamma_x = \frac{r_c}{r_{nx}} \tag{2.3}$$

$$\gamma_y = \frac{r_c}{r_{ny}} \tag{2.4}$$

де r_c - радіус осердя світловода.

- визначення числової апертури світловода:

$$NA = \sqrt{n_c^2 - n_n^2} \tag{2.5}$$

- визначення коефіцієнта кутового він`єтування:

$$\gamma_{\omega x} = \frac{NA}{\theta_x} \tag{4.7}$$

$$\gamma_{\omega y} = \frac{NA}{\theta_y} \tag{2.6}$$

- визначення за допомогою номограми [25,26], коефіцієнтів пропускання при відомих значеннях коефіцієнтів геометричного і кутового він`єтування з співвідношення:

$$\tau = \tau_{\gamma x} \cdot \tau_{\gamma y} \cdot \tau_{\gamma \omega x} \cdot \tau_{\gamma \omega y} . \tag{2.7}$$

У випадку одномодового світловода необхідно враховувати, що оскільки розмір світловода сорозмірний з довжиною хвилі, частина електромагнітної енергії розповсюджується за межами осердя. Тому вводять поняття ефективного радіуса одномодового світловода, що завжди більше реального.

Для визначення цього радіуса використовується наступне співвідношення:

$$\frac{2r_{\text{еф}}}{d_c} = 0{,}65 + \frac{1{,}619}{V^{3/2}} + \frac{2{,}879}{V^6} \tag{2.8}$$

де d_c - діаметр осердя світловода; V - нормована частота.

- визначення коефіцієнта лінійного він`єтування з урахуванням ефективного радіуса:

$$\gamma_{rx} = \frac{r_{\text{еф}}}{r_{nx}} \tag{2.9}$$

$$\gamma_{ry} = \frac{r_{\text{еф}}}{r_{ny}} \tag{2.10}$$

- визначення коефіцієнта пропускання при лінійному він`єтувані:

$$\tau_л = \left(\frac{2}{\gamma_x + \frac{1}{\gamma_x}}\right) \cdot \left(\frac{2}{\gamma_y + \frac{1}{\gamma_y}}\right) \tag{2.11}$$

- визначення по номограмі коефіцієнтів $\tau_{\omega x}$ і $\tau_{\omega y}$.
- визначення коефіцієнта пропускання пристрою вводу випромінювання за допомогою номограми:

$$\tau = \tau_л \cdot \tau_{\omega x} \cdot \tau_{\omega y} \tag{2.12}$$

2.2.2.2 Розрахунок узгодженняза допомогою мікролінзи

Як мікролінзи в пристроях вводу випромінювання у світловод застосовують напівсфери й сфери радіуса *R*. Схема пристрою вводу випромінювання у світловод із застосуванням мікролінз представлена на рис.2.7 [25,26].

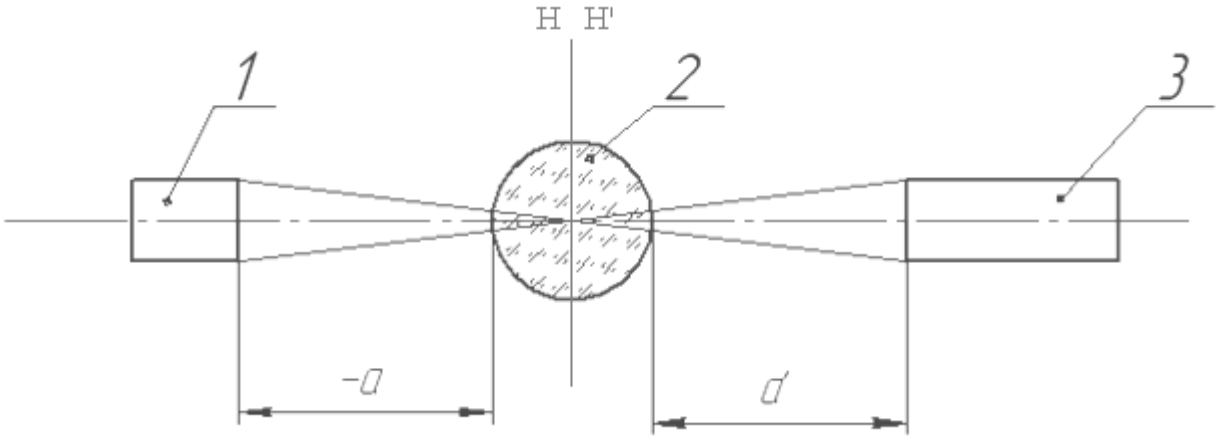


Рисунок 2.7 - Схема пристрою вводу із застосуванням мікролінз:

1 - джерело випромінювання; 2 - мікролінза; 3 - світловод.

Кардинальні параметри напівсферичних мікролінз показані на рис. 2.8 і визначаються по формулах:

$$f' = \frac{R}{n-1} \tag{2.13}$$

$$f' = -S_F \tag{2.14}$$

$$S'_{F'} = \frac{f'}{n} \tag{2.15}$$

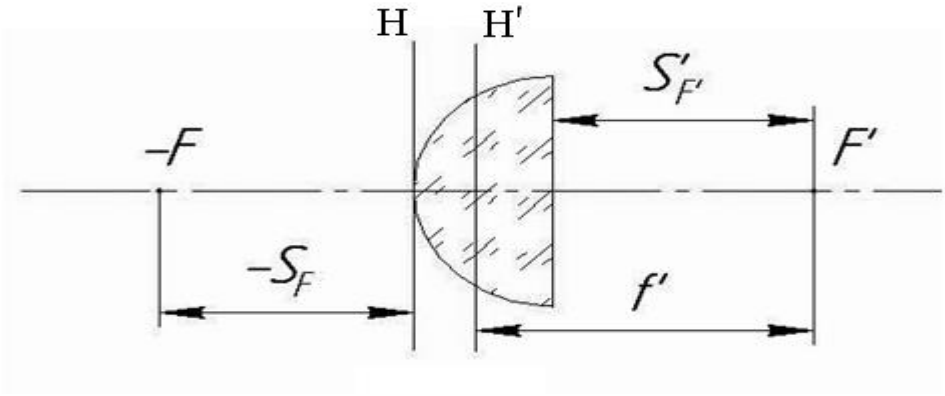


Рисунок 2.8 - Кардинальні параметри напівсферичних мікролінз

Кардинальні параметри сферичних мікролінз показані на рис. 2.9 і визначаються по формулах:

$$f' = \frac{R \cdot n}{2(n-1)} \tag{2.16}$$

$$-S_F = S'_{F'} = \frac{R(2-n)}{2(n-1)} \quad . \tag{2.17}$$

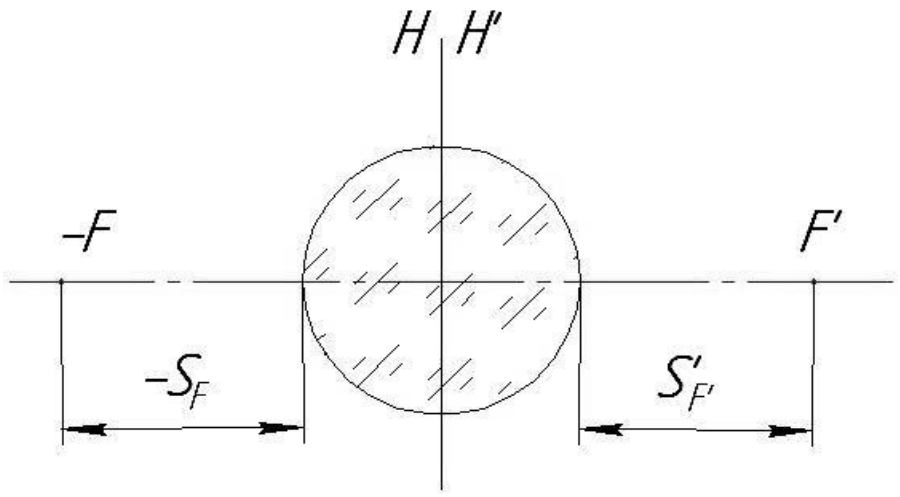


Рисунок 2.9 - Кардинальні параметри сферичних мікролінз

Якщо мікролінза застосовується для вводу випромінювання в багатомодовий світловод, то її фокусна відстань визначається співвідношенням:

$$(f \cdot f')^2 = \frac{\left(\frac{r_{cx}}{\theta_x}\right)^2 + \left(\frac{r_{cy}}{\theta_y}\right)^2}{\left(\frac{NA_x}{r_{ПХ}}\right)^2 + \left(\frac{NA_y}{r_{ПУ}}\right)^2} \tag{2.18}$$

де $r_{cx} = r_{cy} = r_c$ – радіус світловода; θ_x і θ_y – кути розходження лазерного пучка по двом координатам; $NA_x = NA_y = NA$ – числова апертура світловода;

$r_{ПХ}$ і $r_{ПУ}$ – радіус перетяжки лазерного пучка.

Радіус перетяжки лазерного пучка визначається зі співвідношень:

$$r_{ПХ} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \theta_x} \tag{2.19}$$

$$r_{ПУ} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \theta_y} \tag{4.37}$$

Для подальшого розрахунку необхідно визначити збільшення в перетяжках:

$$\beta_{rx} = \frac{f' \cdot \theta_x}{r_{ПХ}} \tag{2.20}$$

$$\beta_{ry} = \frac{f' \cdot \theta_y}{r_{ПУ}} \tag{2.21}$$

де f' – фокусна відстань мікролінзи.

Коефіцієнти лінійного віньєтування визначаються співвідношенями:

$$\gamma_{rx} = \frac{r_c}{r_{ПХ} \cdot \beta_{rx}} \tag{2.22}$$

$$\gamma_{ry} = \frac{r_c}{r_{ПУ} \cdot \beta_{ry}} \tag{2.23}$$

Коефіцієнти лінійного й кутового вин'єтування для багатомодових світловодів зв'язані співвідношеннями:

$$\gamma_{rx} = \gamma_{\omega y} \tag{2.24}$$

$$\gamma_{ry} = \gamma_{\omega x} \tag{2.25}$$

Якщо $\gamma < 1{,}37$ для визначення коефіцієнта пропускання користуються. Якщо $\gamma > 1{,}37$, то втрат на пропускання немає (він'єтування немає $\tau = 1$)

Коефіцієнт пропускання пристрою вводу випромінювання визначається наступним співвідношенням:

$$\tau = \tau_{rx} \cdot \tau_{ry} \cdot \tau_{\omega x} \cdot \tau_{\omega y} \tag{2.26}$$

Якщо мікролінза вводить випромінювання в одномодовий світловод, то її фокусна відстань визначається співвідношенням:

$$-f \cdot f' = \frac{r_{с.еф.x} \cdot r_{с.еф.y}}{\theta_x \cdot \theta_y} \tag{2.27}$$

де $r_{с.еф.x} = r_{с.еф.y} = r_{с.еф.}$ – ефективний радіус світловода.

Коефіцієнт лінійного він'єтування дорівнює:

$$\gamma_{rx} = \frac{r_{с.еф}}{r_{ПХ} \cdot \beta_{rx}} \tag{2.28}$$

$$\gamma_{ry} = \frac{r_{с.еф}}{r_{ПУ} \cdot \beta_{ry}} \tag{2.29}$$

Коефіцієнт пропускання при лінійному він'єтуванні визначається співвідношенням:

$$\tau_{лін} = \left(\frac{2}{\gamma_x + \gamma_y} \right)^2 \qquad (2.30)$$

Коефіцієнт пропускання при кутовому він'єтуванні визначають по номограмі.

Коефіцієнт пропускання пристрою вводу випромінювання у світловод визначається співвідношенням:

$$\tau = \tau_{лін} \cdot \tau_{\omega x} \cdot \tau_{\omega y} \qquad (2.31)$$

2.2.2.3 Розрахунок узгодження за допомогою сферичної лінзи

У деяких випадкух для вводу випромінювання у світловод застосовують звичайні сферичні лінзи. Схема застосування таких лінз показана на рис. 2.10 [25,26].

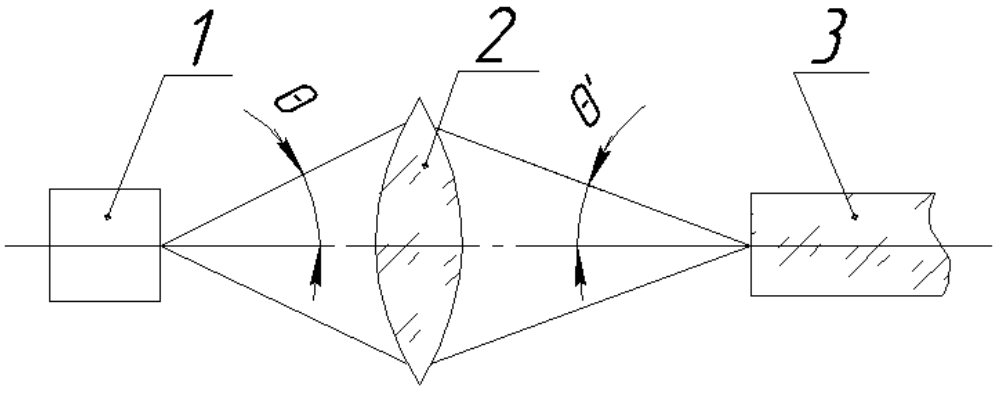


Рисунок 2.10 - Схема застосування сферичної лінзи: 1- випромінювач; 2 - лінза; 3 - світловод.

При розрахунку пристрою вводу випромінювання необхідно вирішити завдання узгодження по площі й по апертурі випромінювача й світловода.

Втрати випромінювання в цьому випадку можна визначити по формулі :

$$\text{П} = 10\lg\frac{P_д}{P_c} = 10\lg\left(\frac{2S_д}{(m+1)\cdot S_c\cdot(NA)^2}\right) \qquad (2.32)$$

де $P_д$ – потужність випромінювання джерела;

P_c – потужність, що введена у світловод;

$S_д$ – площа випромінюючої площини джерела;

S_c – площа вхідного торця осердя світловода;

m – коефіцієнт, що враховує рівень потужності на краю діаграми спрямованості джерела.

Якщо $S_c > S_д$, то можна вважати відношення $\frac{S_д}{S_c} = 1$. Якщо одна з координат $y < r_{св}$, то втрати випромінювання можна визначити, порівнюючи не площі, а лінійні розміри джерела й світловода [25,26]. Тоді:

$$П = 10\cdot\lg\cdot\left[\frac{2\cdot x}{(m+1)\cdot r_c\cdot(NA)^2}\right] \text{ дБ.} \qquad (2.33)$$

Ступінь кутового він'єтування залежить від кутових розмірів індикатриси випромінювання джерела й числової апертури світловода. Параметр, що характеризує кутові розміри індикатриси (m), може бути визначений на підставі допущення про необхідну потужність випромінювання на краю діаграми спрямованості.

Для практичних розрахунків можна прийняти, що:

$$P(\theta) = P_0\cos^m\theta \qquad (2.34)$$

де P_0 – потужність випромінювання по центру індикатриси випромінювання джерела; $P(\theta)$ – потужність випромінювання індикатриси під кутом θ відносно осі.

Якщо прийняти, що виконується співвідношення:

$$\frac{P(\theta)}{P_0} = \cos^m\theta = 0{,}5 \qquad (2.35)$$

тоді

$$m\cdot\lg\cdot\cos\theta = \lg 0{,}5 \qquad (2.36)$$

$$m = \frac{\lg 0.5}{\lg \cdot \cos\theta} \tag{2.37}$$

де θ – кут розходження лазерного пучка по вертикалі.

Якщо для зменшення втрат використовується сферична лінза, то вона змінює кутові розміри індикатриси джерела випромінювання. Індикатриса зменшується й стає рівною числовій апертурі світловода. На рис.2.11 показана схема вводу випромінювання у світловод для даного випадку.

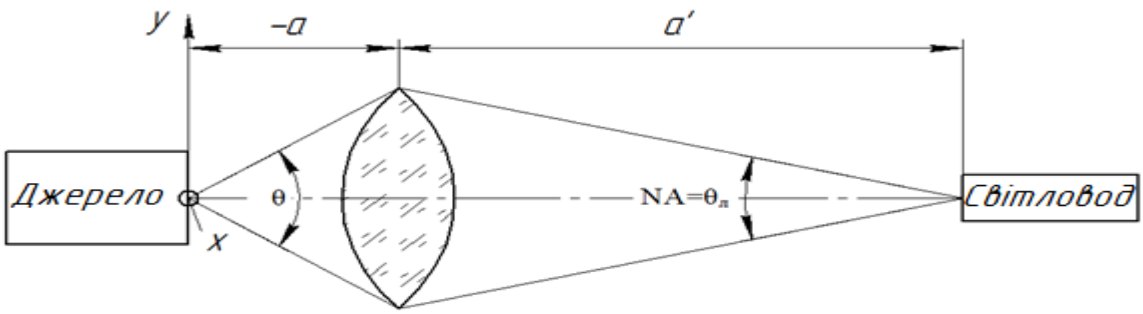


Рисунок 2.11 - Схема вводу випромінювання у світловод з використанням сферичної лінзи

У цьому випадку використовується нове значення m_1, що дорівнює:

$$m_1 = \frac{\lg 0{,}5}{\lg \cdot \cos(NA)} \tag{2.38}$$

Для визначення конструктивних параметрів сферичної лінзи, а також розташування джерела й приймача, використовують наступні співвідношення:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \tag{2.39}$$

$$a' = \beta \cdot a \tag{2.40}$$

$$\beta = \frac{d_c}{x} \tag{2.41}$$

$$d = \frac{R(1+\beta)}{2(n-1)} \tag{2.42}$$

Розрахуємо параметри лінзи

розмір зони випромінювання x=30мкм; y=3мкм;

розходження випромінювання $\theta_x = 9^o; \theta_y = 30^o$;

приймач випромінювання λ=260 – 280 нм, d_n ~70мкм;

світловод – d_c=4 мм;

сферична лінза - f'=16 мм $R_1=R_2$, n=1,45.

Визначимо радіуси лінзи:

$$\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad при \quad R_1 = R_2$$

$R_1=R_2$=14,4 мм.

Результати обчислень показали, що найменший коефіцієнт пропускання (10%) маємо при прямому узгодженні, при використанні мікролінзи коефіцієнт пропускання становить близько 75%, при застосуванні сферичної лінзи коефіцієнт пропускання становить 70%. Зважаючи на те, що технологія отримання мікролінз є доволі складною, і отже, вартість такого елемента є суттєвою, у якості узгодження обираємо узгодження за допомогою сферичної лінзи [27].

2.2.3 Опромінювальна ситема

Для забезпечення максимального за потужністю потоку УФ випромінювання, на ділянці світловода, яку безпосередньо використовуємо для знезараження, робимо неглибокі (не більше 0,5 мм) технологічні заглиблення. Оброблену ділянку для захисту покриваємо імерсійною речовиною із показником заломлення, який є порівняним із показником заломлення кварцового світловода (n кварцового скла дорівнює 1,45). Такий ефект просвітлення дасть можливість вивести УФ випромінювання без втрат на випромінювання [26, 28].

У якості імерсійної рідини обираємо стирол акрілову емульсію [29]. Стирол акрілова емульсія - в'язка кремоподібна рідина, стійка до високих температур, стійка до багатьох хімічних речовин, оптично прозора, показник заломлення n=1,43. На рисунку 2.12 представлена система виведення УФ випромінювання із світловолокна.

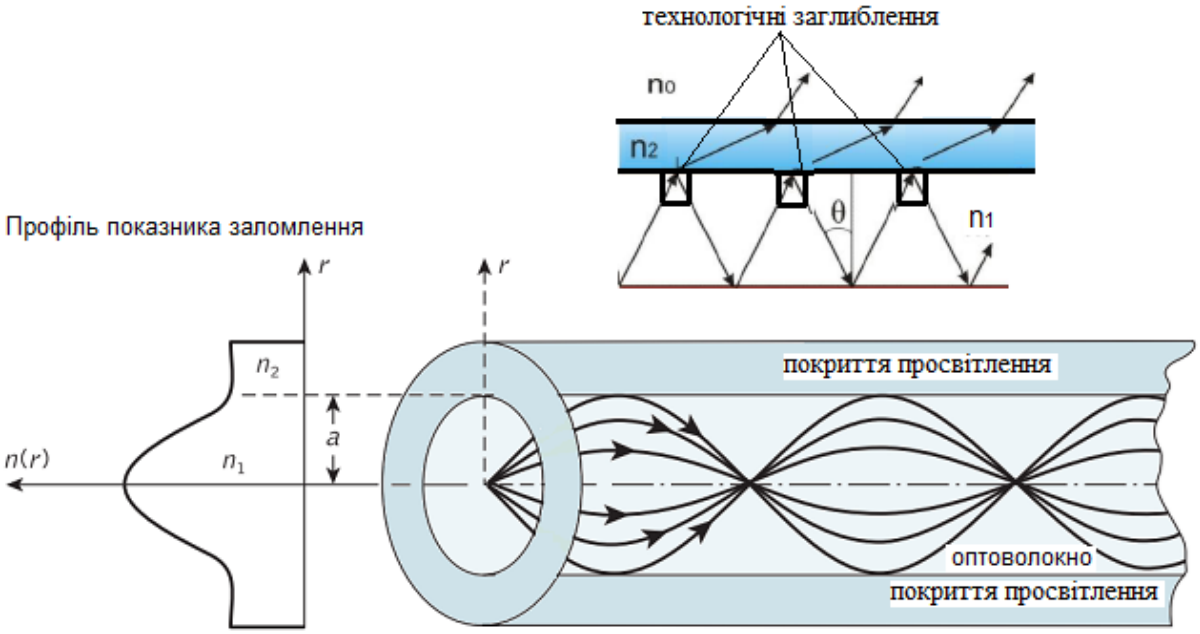


Рисунок 2.12 - Система виведення УФ випромінювання із оптоволокна: n_0 – показник заломлення повітря, n_1 - показник заломлення світловолокна, n_2 – показник заломлення просвітлюючого покриття.

2.3 Джерело випромінювання оптоволоконної знезаражувальної системи

Враховуючи особливості спектрального складу випромінювання системи, пропускної здатності оптичних складових, у якості джерела випромінювання обираємо УФ світлодіоди. Малі габарити, доступна елемента база схемотехнічного забезпечення джерела живлення та систем керування роблять цей тип випромінювачів більш привабливим, порівняно із ртутними газорозрядними лампами [6, 8-10, 15].

Після аналізу компонентної бази провідних виробників світлодіодів [30-32], було прийняте рішення у якості джерела випромінювання використати InGaN світлодіод GG-3535UVC-1620 китайського виробництва з наступними характеристиками [30]:

Вхідний струм: 100-150 мА

Потужність: 1 Вт

Вхідна напруга: 5-8 В постійного струму

Тип світлодіодного пакета: ALN Ceramic 3535

Випромінювана потужність: 16-18 мВт

Діапазон довжини хвилі випромінювання: 265-280 нм.

На рисунку 2.13 представлена випромінювальна характеристика світлодіода [30].

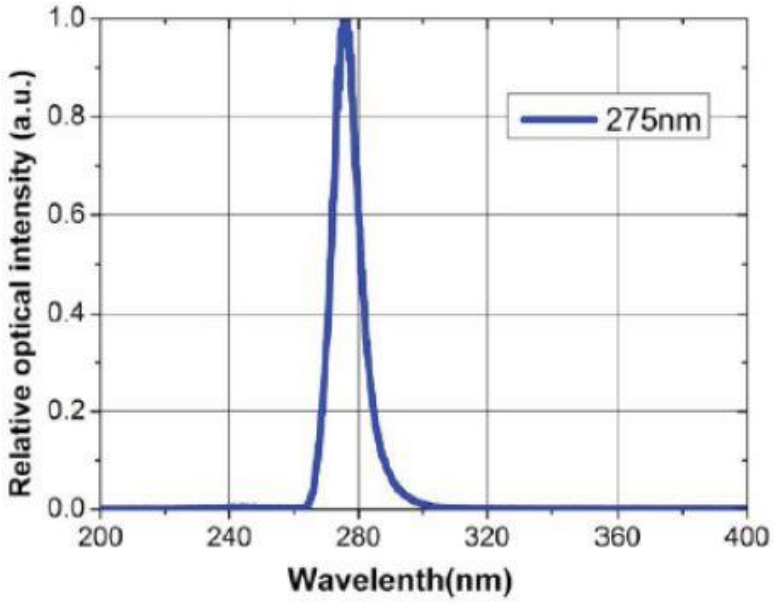


Рисунок 2.13 - Випромінювальна характеристика світлодіода

Як видно із графіка, за спектральними випромінювальними характеристиками, світлодіод GG-3535UVC-1620 має найбільш ефективний діапазон – 275 нм із шириною лінії не більше 15 нм [30].

На рисунку 2.14 представлений зовнішній вигляд та габаритні розміри світлодіода [30].

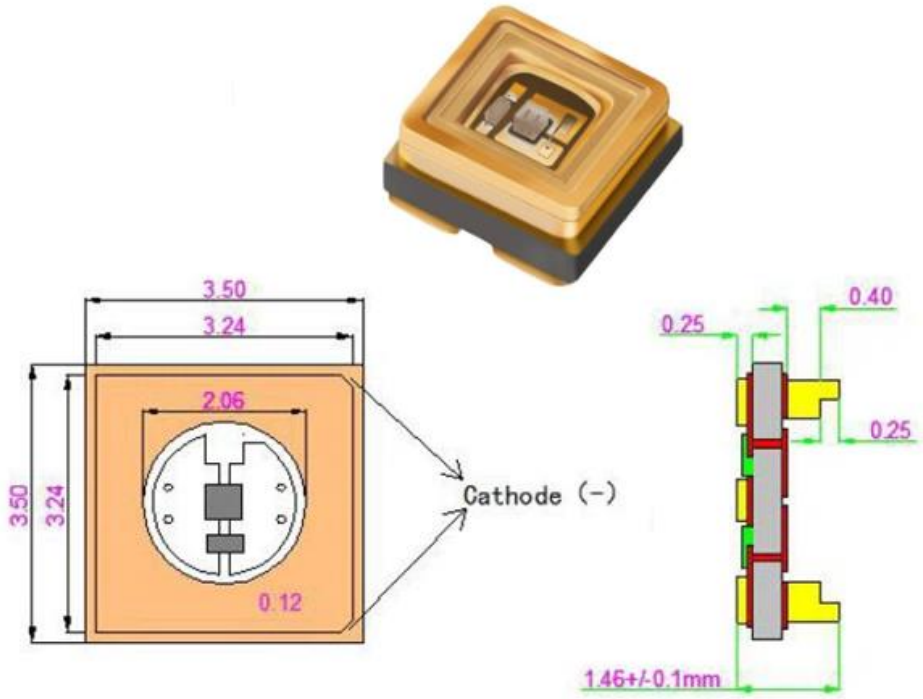


Рисунок 2.14 - Зовнішній вигляд та габаритні розміри світлодіода

Для подальшого забезпечення з’єднання оптичних компонент було обрано тип захисного елементу світлодіода у вигляді прозорої сфери із кутом обзору 300 (відповідно до розрахунків оптичної стеми) [30].

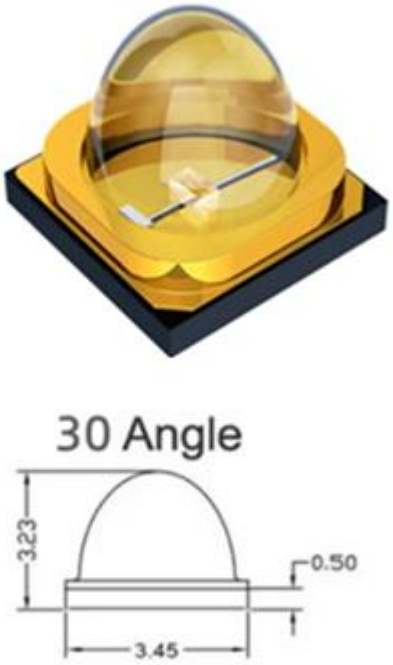


Рисунок 2.15 – Захисний елемент світлодіода

2.4 Драйвер світлодіода

Як відомо, основною проблемою побудови світлодіодних випромінювальних систем є забезпечення стабільного, за вихідними параметрами, джерела живлення [4-6, 8-10].

Після аналізу відомих схем керування параметрами світлодіодів, або як їх називають – LED-драйвери [8-10], у роботі був використаний універсальний LED-драйвер на сеціалізованій мікросхемі CN5711 (регулятор струму) [33]. На рисунку 2.16 представлена схема драйвера.

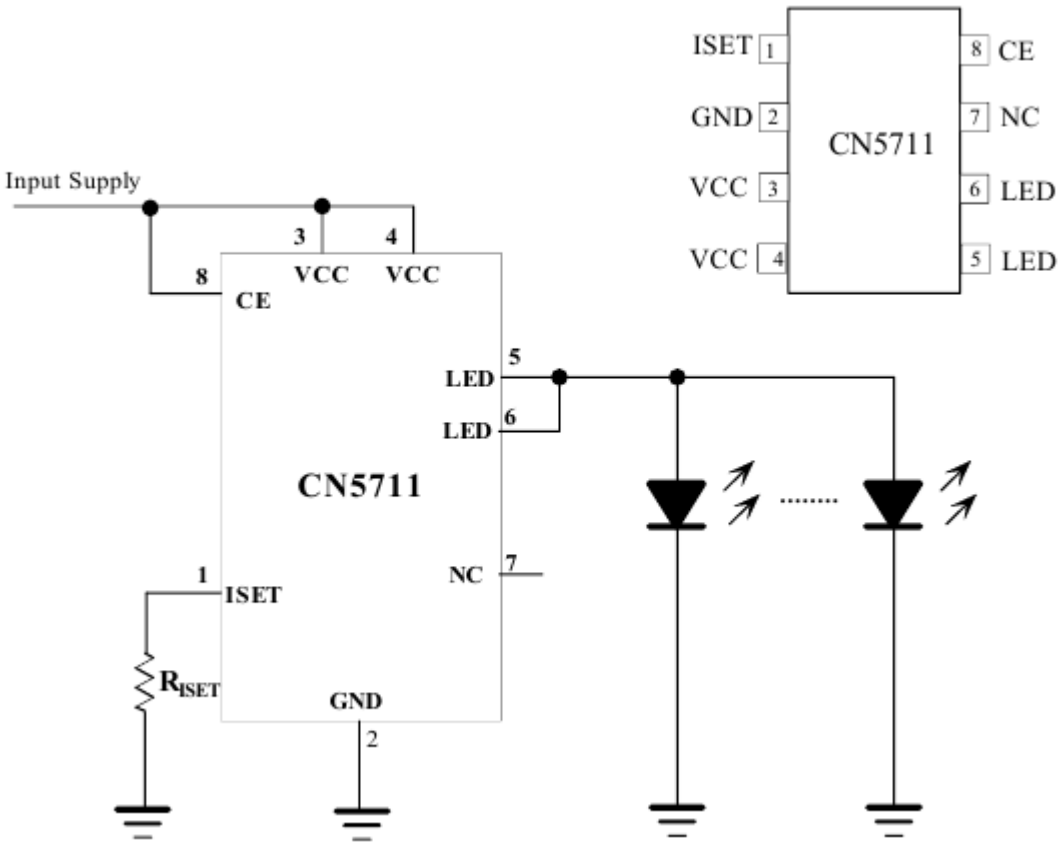


Рисунок 2.16 – Схема LED-драйвера на мікросхемі CN5711

У дравері передбачений вхід ШІМ (широтно-імпульсний модулятор) для зовнішнього регулювання. Передбачена можливість паралельного підключення світлодіодів.

Для регулювання зовнішніх ШІМ необхідно встановити резистор в 0 Ом, а на вхід CE подати ШІМ з генератора або мікроконтролера. Максимальна част ота 2 кГц [34-37].

Для забезпечення стабільних вхідних параметрів драйвера, які в подальшому будуть впливати на якість випромінювання світлодіода додатково драйвер підключимо до стабілізованого джерела живлення за наступною схемою (рисунок 2.17) [34-37].

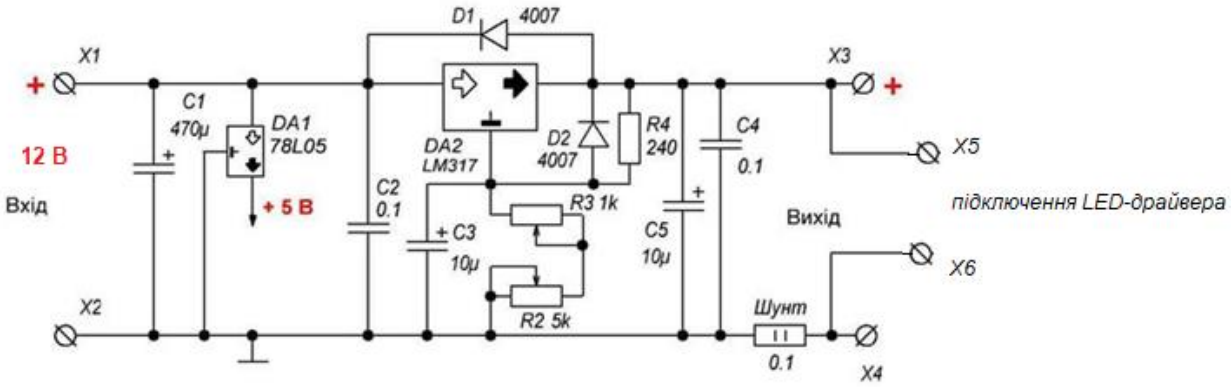


Рисунок 2.17 – Схема підключення LED-драйвера до джерела живлення

У схемі використовується стабілізатор напруги на мікросхемі 78L05 та регулятор напруги на мікосхемі LM317 [33].

На рисунку 2.18 представлена схема стабілізатора напруги джерела живлення LED-драйвера. На рисунку 2.19 представлена схема регулятора напруги джерела живлення LED-драйвера [33].

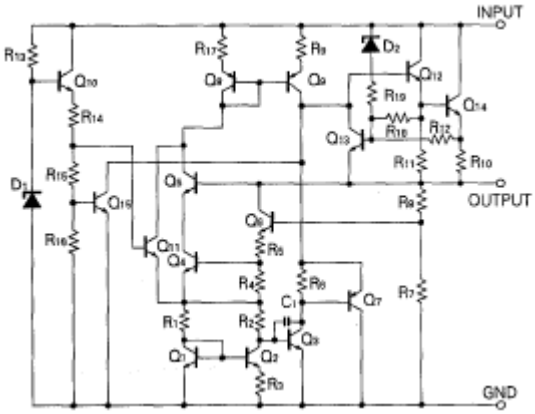


Рисунок 2.18 - Схема стабілізатора напруги джерела живлення LED-драйвера

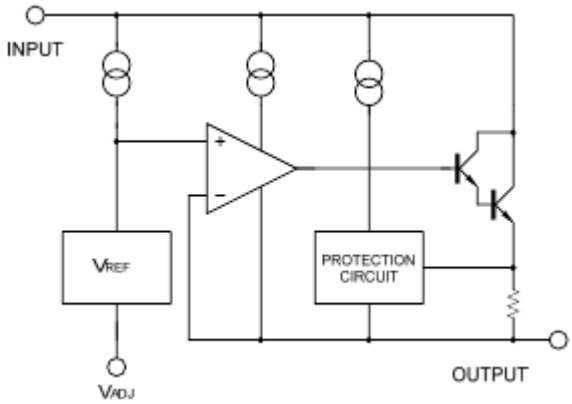


Рисунок 2.19 - Схема регулятора напруги джерела живлення LED-драйвера

2.5 Контроль параметрів випромінювання

Для контролю потужності УФ випромінювання у розроблюваній системі використовуємо фотодіодну схему реєстрації [8-10, 34-37].

У якості реєстратора обираємо УФ фотодіод з вбудованим підсилювачем OPT301 [38].

У таблиці 2.1 представлені характеристики фотодіода OPT301. На рисунку 2.20 надано спектральну характеристику фотодіода OPT301.

Таблиця 2.1 Характеристики фотодіода OPT301

Матеріал / Тип	GaN
Спектральний діапазон мін. нм	220 нм
Спектральний діапазон макс. нм	370 нм
Корпус / Виконання	TO-5
Мін. напруга живлення	1.8 В
Макс. напруга живлення	5.5 В
Струм живлення	50 мкА
Відгук	1.8 мВ/нВт
Вихідна напруга	1.88 В
Типовий час наростання	3 мс

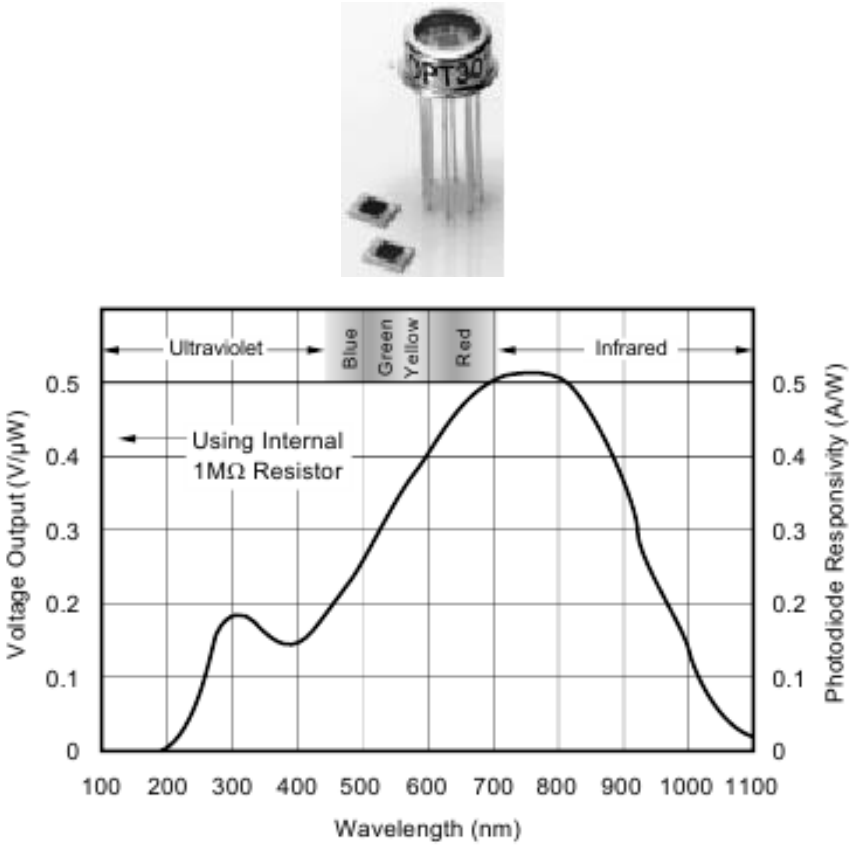


Рисунок 2.20 - Спектральна характеристика фотодіода OPT301

Як слідує із спектральної характеристики, фотодіод може бути використаний у широкому оптичному діапазоні – від УФ до ІЧ (інфрачервоний).

На рисунку 2.21 представлена схема вбудованого підсилювача на базі мікросхеми LMV358 [39].

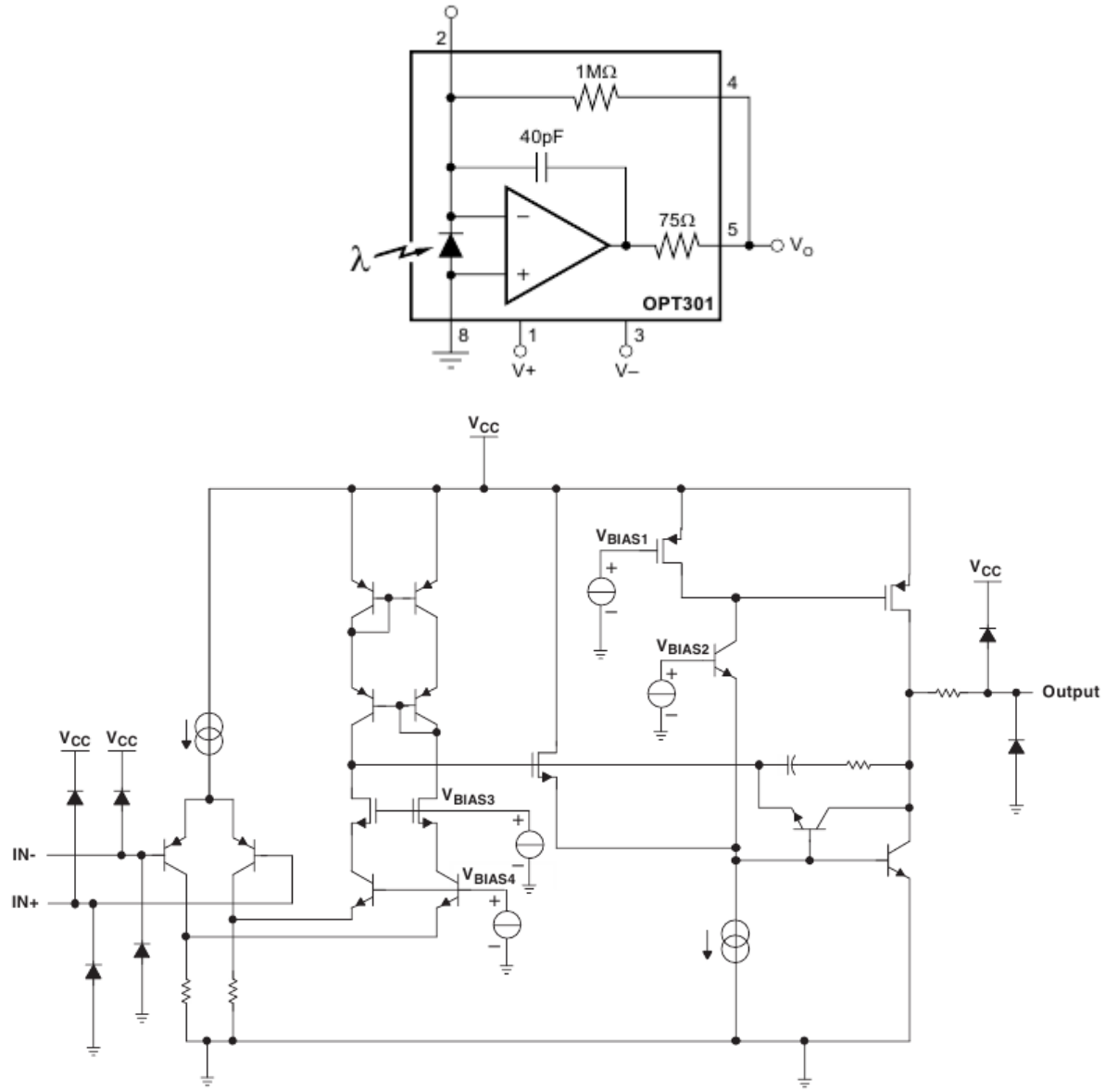


Рисунок 2.21 - Схема вбудованого підсилювача фотодіода OPT301

2.6 Мікроконтролерна схема керування функціональними блоками оптоволоконної знезаражувальної системи

Для забезпечення контролю параметрів і надійного функціювання системи знезараження у роботі досліджувалась мікроконтролерна схема [34-37, 39]. Після аналізу наявної номенклатури мікроконтролерів, за базову було запропоновано схему мікроконтролера MSP430 (Texas Instruments) [40].

Характеристики**:**

Розрядність: 16 біт.

Тактова частота: до 25 МГц.

Архітектура: RISC.

Вбудована флеш-пам'ять (до 512 КБ) і RAM (до 64 КБ).

Низьке енергоспоживання (ультранизька потужність).

Переваги**:**

Ідеальний для завдань з низьким енергоспоживанням, наприклад, для портативних пристроїв і сенсорних мереж.

Висока енергоефективність завдяки архітектурі і режимам енергозбереження.

Постійно підтримується розробником

На рисунку 2.22 представлена функціональна схема мікроконтролера MSP430

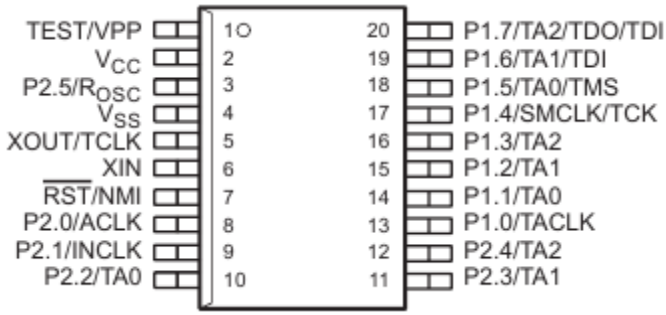


Рисунок 2.22 - Функціональна схема мікроконтролера MSP430

На рисунку 2.23 представлена рекомендована виробником схема підключення світло- і фотодіодів до мікроконтролера [40].

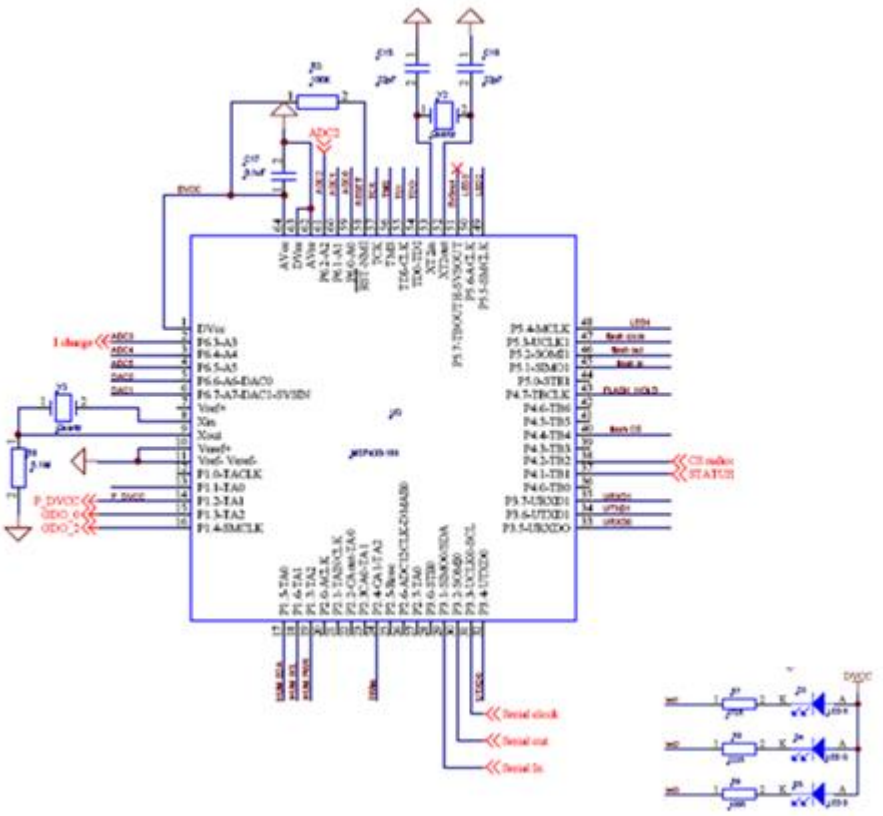


Рисунок 2.23 – Схема підключення зовнішніх пристроїв до мікроконтролера MSP430

На рисунку 2.24 представлена схема, яка безпосередньо використовується у розробці

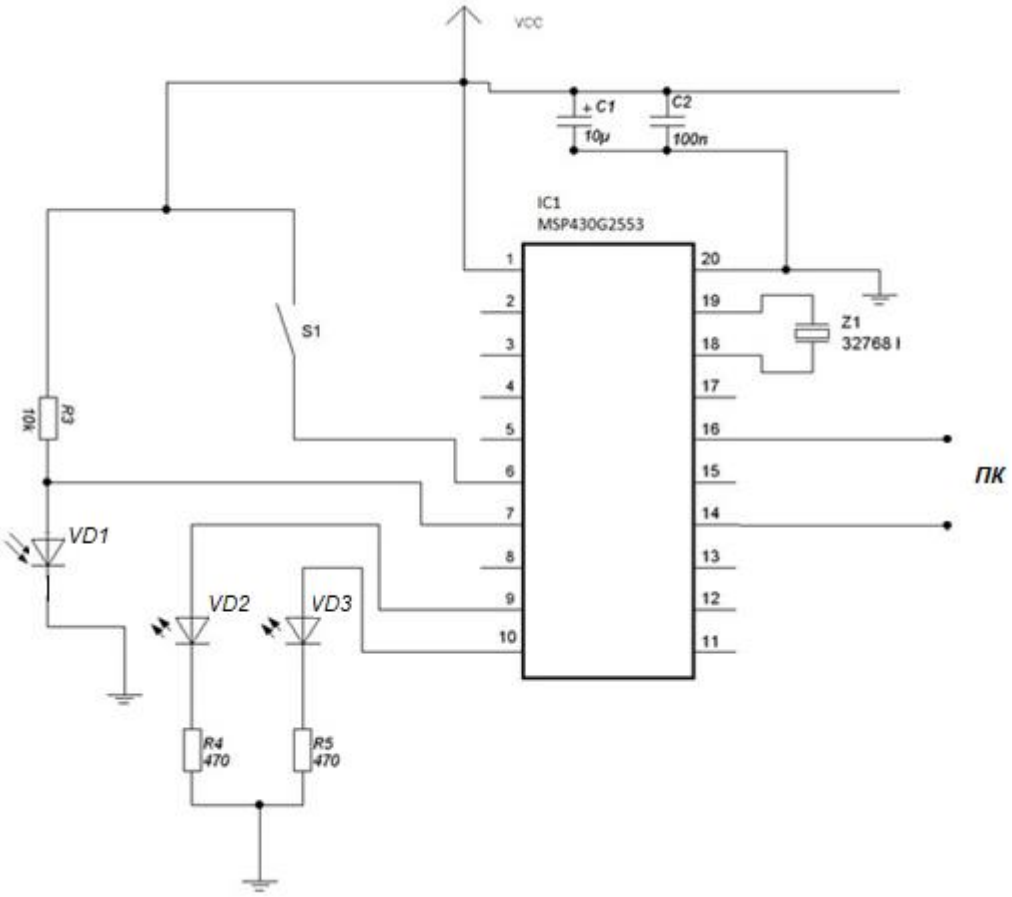


Рисунок 2.24 – Електрична схема підключення зовнішніх пристроїв до мікроконтролера MSP430

У роботі було перевірена функціональність підключення світлодіодів до мікроконтролера. Моделювання виконували за On-line симулятор програми САПР Proteus [41]. Реєстрацію показів моделювали за допомогою індикатора. На рисунку 2.25 представлена модель схеми системи в редакторі Proteus.

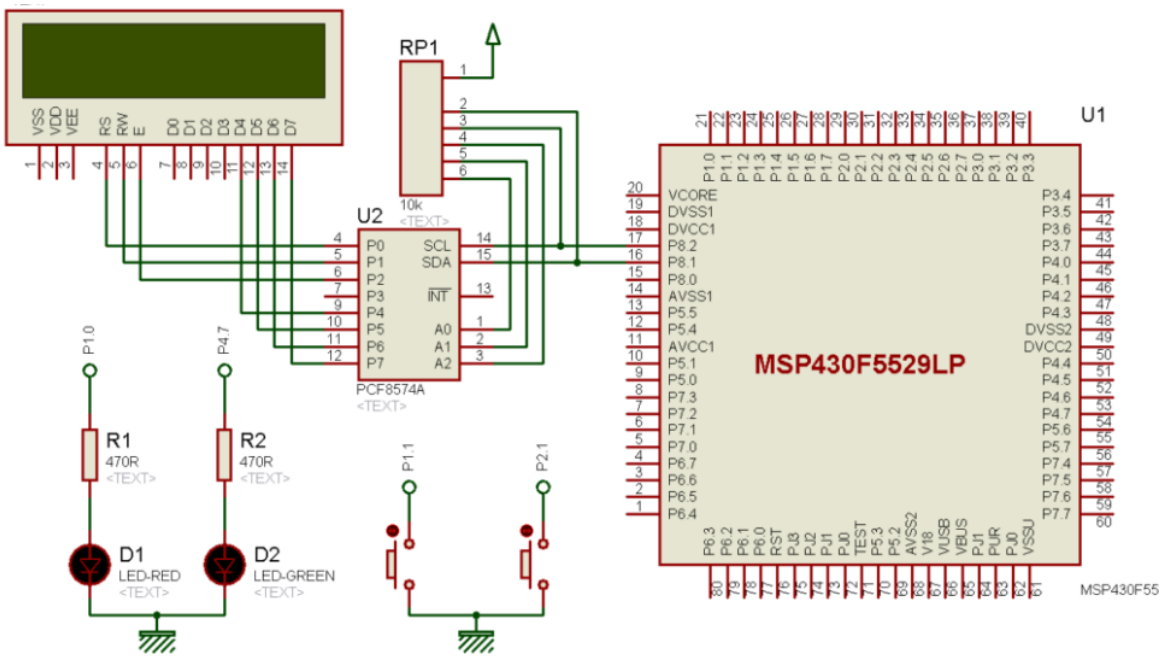


Рисунок 2.25 – Модель підключення світлодіодів до мікроконтролера MSP430

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) за основу дослідження і розробки було використано принцип безпосереднього підведення УФ випромінювання до зони зараження за допомогою кварцового оптоволокна;

2) було використано кварцеве свіловодне волокно, виготовлене із плавленого кварцу (99.998% SiO_2) з діаметром - 4 мм;

3) у роботі були проведені розразунки для прямого узгодження світловода і джерела випромінювання, для випадку мікролінзи, для випадку сферичної лінзи. Розрахунки показали переваги мікролінзи за ефективністю світлопередачі, але зважаючи на те, що технологія отримання мікролінз є доволі складною, і отже, вартість такого елемента є суттєвою, у якості узгодження обираємо узгодження за допомогою сферичної лінзи;

4) для забезпечення максимального за потужністю потоку УФ випромінювання, на ділянці світловода, яку безпосередньо використовуємо для знезараження, робимо технологічні заглиблення і покриваємо імерсійною

речовиною із показником заломлення, який приблизно дорівнює показнику заломлення кварцового світловода (стирол акрилова емульсія);

5) у якості джерела випромінювання використати InGaN світлодіод GG-3535UVC-1620 китайського виробництва, для стабільного функціювання якого був використаний універсальний LED-драйвер на сеціалізованій мікросхемі CN5711;

6) у якості реєстратора обрано УФ фотодіод OPT301з вбудованим підсилювачем;

7) усі елементи системи мають добре узгодження за спектральними характеристиками по довжині хвилі УФ випромінювання – 260 – 280 нм;

8) для забезпечення контролю параметрів і надійного функціювання системи знезараження у роботі використовувався мікроконтролер MSP430;

9) функціональність схеми підтверджено оделюванням у середовищі САПР Proteus.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки електричних схем оптоволоконної знезаражувальної системи

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схем оптоволоконної знезаражувальної системи

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного модуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схем оптоволоконної знезаражувальної системи проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [46].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді тонкіх плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [42].

У матриці прийняті наступні позначення: *i* – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) *i* = 1, 2, 3, 4, 5, 6; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага і-го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
∑							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}}{\sum_{i=1}^{4}\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}},$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
$\sum$					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\sum$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\sum$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
∑					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
∑					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
∑					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [42].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схем оптоволоконної знезаражува-

льної системи, з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації схем оптоволоконної знезаражувальної системи за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схем оптоволоконної знезаражувальної системи.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схем оптоволоконної знезаражувальної системи

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 1921,00 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво оптоволоконної знезаражувальної системи

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Оптоволокно кверцове (діаметр 4 мм, довжина 254 мм)	шт.	1	120,00	120,00
Лінза	шт.	2	46,00	92,00
Стирол акрилова емульсія	кг.	0,1	26,00	26,00
Світлодіод GG-3535UVC-1620	шт.	1	256,00	256,00
Драйвер світлодіода на мікросхемі CN5711	шт.	1	20,00	20,00
Мікросхема 78L05	шт.	1	5,00	5,00
Мікросхема LM317	шт.	1	15,00	15,00
Фотодіод OPT301	шт.	2	281,00	562,00
Мікроконтролер MSP430	шт.	1	150,00	150,00
Всього				1246,00

Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Фольгований текстоліт 100 × 100	шт.	1	38,00	38,00
Припій паяльний	шт.	1	75,00	75,00
Флюс паяльний	шт.	1	70,00	70,00
Травильник	уп. (100 г)	1	55,00	55,00
Трафарет	шт.	2	63,00	126,00
Очищувач плат	шт.	1	70,00	70,00
Лак електроізоляційний	шт.	1	93,00	93,00
Вода дистильована	шт. (1 л)	1	28,00	28,00
Папір А4 для оформлення технічної документації	уп.	1	120,00	120,00
Всього				675,00

4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем оптоволоконної знезаражувальної системи

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основну небезпеку на виробництві представляє використання електроприладів, які працюють при напрузі небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [43,44].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирково-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, не говорячи вже про неймовірне навантаження на очі. Захворювання, викликані травмою навантажень, що повторюються, не виявляються відразу, це нездужання, що поступово накопичуються. У цьому їх небезпека. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область [43,44].

У виникненні хвороб такого роду найчастіше винні: погана ергономіка робочих місць, дуже високо розташована клавіатура, непідходяще крісло, незнання основних правил роботи за комп'ютером. Правила, що стосуються освітлення в приміщенні і на робочому місці, мікроклімату, розташування клавіатури прості:

- повна тривалість робочого часу, проведеного за екраном монітора із захисним екраном, для дорослого користувача не повинна перевищувати 4 години за 8-годинний робочий день;

- не рекомендується працювати на клавіатурі безперервно більше 30 хвилин, кожну годину необхідно робити п'ятихвилинну перерву, а кожні дві години - 15-хвилинний, причому краще покинути робоче місце, влаштувати розминку для пальців, зробити просту гімнастику для очей;

- для устаткування робочого місця краще використовувати спеціальні столи і стільці, що дають можливість регулювати положення всіх вузлів, - висоти столу, полички для клавіатури, крісла користувача;

- висоту клавіатури слід відрегулювати так, щоб кисть розташовувалася прямо;

- спина має бути пряма, кут між стегнами і хребтом теж прямий, для чого слід підібрати таке крісло, спинка якого здатна підтримувати спину користувача.

- монітор слід розташувати так, щоб нижній рівень екрану знаходився на 20…25 см нижче за рівень очей, а рівень верхньої кромки розташовувався на висоті лоба, від екрану монітора до очей має бути не менше 75…120 см.

- відстань між столами з комп'ютерами - не менше 1,5 метрів, між моніторами - не менше 2,2 метрів.

- екран комп'ютера краще розташувати під прямим кутом по відношенню до вікон, які необхідно завісити або закрити жалюзі.

4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робітниках метах повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [43,44].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату.

До категорії 1а відносяться роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, вироблювані сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводяться деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/ч

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову вели-

чину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального полягання в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 4.1 [43,44] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних при монтажі елементів, згідно СН 245-71.

Таблиця 4.1 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м^3
Ацетон	30
Каніфоль	150
Олово	90
Спирт	1000

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

4.4 Електробезпека

Дія електричного струму на організм людини може бути теплова, хімічна і біологічна. При дії електричного струму на організм людини можуть бути два види поразки: електричні удари і електричні травми. Часто ці види супроводять один одному [43,44].

Захистом від дотику до струмопровідних частин електроустановок є ізоляція дротів, обгороджування, блокування і захисні засоби. Захистом від напруги, що з'явилася на корпусах електроустановок в результаті порушення ізоляції, є захисне заземлення, занулення і захисне відключення.

Захисне заземлення влаштовується в мережах з ізольованою нейтраллю. Воно є навмисним з'єднанням із землею неструмопровідних металевих частин електроустановок.

Захисне заземлення необхідне для зниження напруги відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції.

При зниженні напруги на корпусах відносно землі струм, що проходить через людину, що стосується корпусу, знижується до безпечної величини (10 мА).

На ділянці проведення експерименту в лабораторії застосовується електроустаткування до 220 В. Електроживлення здійснюється від розподільних щитів за допомогою комутуючих автоматів, що виробляють захист того або іншого об'єкту.

Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної безпеки.

Відповідно до ПЗП приміщення лабораторії відносять до класу по пожежобезпеці П-11 а. Міра захисту електроустаткування 1 Р44.

Прокладка сполучних дротів здійснюється в трубах, що забезпечує надійний захист від механічних пошкоджень дротів [43,44].

4.5 Пожежна безпека

Приміщення, де виробляється травлення печатних плат, відноситься до вибухонебезпечного, оскільки водень, що виділяється при травленні, з атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Проте це може статися лише при відключенні вентиляції, тобто при аваріях. Отже, приміщення відноситься до класу В-Іа. По мірі пожежної безпеки дане виробництво згідно ДБН В.1.1–7–2002 може бути віднесене до категорії Д, оскільки характеризується наявністю речовин, що лише не згорають, і матеріалів в холодному стані [20].

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться лабораторія, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно ДБН В.1.1–7–2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/хв [43,44]. Згідно ПУЕ, будівля, в якій знаходиться лабораторія по захисту від блискавки, відноситься до категорії С і захищається від прямих ударів блискавок, і від занесення високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації, їх приєднують при введенні в захищаємий об'єкт до заземлення

електроустаткування. Отже, грозозахист засновано на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж в лабораторії необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж при на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафках, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислотний вогнегасник ОУ-2, в кількості двох вогнегасників на кожну установку. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації.

Визначимо технічні і організаційні заходи в лабораторії того, що труїть печатних плат. До технічних заходів відносяться протипожежні заходи, вживані лабораторії:

- територію лабораторії необхідно постійно містити в чистоті, горюче сміття повинне систематично віддалятися на спеціально відведені ділянки і у міру накопичення вивозитися;

- всі струмопровідні частини, розподільні пристрої, рубильники і інші пускові апарати вмонтовуються на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс, азбест, і тому подібне);

- вимір опору ізоляції електромережі проводиться не рідше два раз на рік. Несправні ділянки знеструмлюються і замінюються новими;

- вся електрична апаратура, встановлена в лабораторії, виконується вибухозахищеною;

- для усунення можливості проникнення пари і газів з цеху в сусідні приміщення виводи дротів крізь стіни робляться із застосуванням фарфорових трубок, отвори яких закриваються кислотноупорной мастикою;

- куріння в приміщенні строго забороняється;

- на випадок виникнення пожежі необхідно передбачити можливість евакуації людей. Евакуаційні дороги повинні забезпечувати евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщенні лабораторії протягом необхідного часу. Число евакуаційних доріг не менше два. Кількість та розміри евакуаційних виходів з будівель і приміщень, їхні конструктивні й планувальні рішення, умови освітленості, забезпечення незадимленості, протяжність шляхів евакуації, їх облицювання (оздоблення) повинні відповідати протипожежним вимогам будівельних норм.

- евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, нічим не захаращуватися і в разі виникнення надзвичайної ситуації забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівель та споруд, двері на дорогах евакуації навішуються так, щоб відкривалися по направленню виходу з будівлі;

- мінімальна ширина дверей на дорогах евакуації не менше 0,8 м;

- висота переходу на дорогах евакуації не менше 2 м;

- пристрій гвинтових сходів і змінних рівнів на дорогах евакуації не допускається;

- схема евакуації людей ретельно розробляється і вивішується на видних місцях;

- весь трудовий колектив проходить навчання заходам пожежної безпеки.

- у разі розміщення технологічного, експозиційного та іншого обладнання в приміщеннях повинні бути забезпечені евакуаційні проходи до сходових кліток та інших шляхів евакуації відповідно до будівельних норм.

Не допускається:

- влаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети, розсувні, підйомні двері, такі двері, що обертаються, та інші пристрої, які перешкоджають вільній евакуації людей;

- захаращувати шляхи евакуації (коридори, проходи, сходові марші і площадки, вестибюлі, холи, тамбури тощо) меблями, обладнанням, різними матеріалами та готовою продукцією, навіть якщо вони не зменшують нормативну ширину;

- забивати, заварювати, замикати на навісні замки, болтові з'єднання та інші запори, що важко відчиняються зсередини, зовнішні евакуаційні двері будівель;

Для оптимального здійснення евакуації з будівель та споруд різного призначення створюються відповідні комісії. Вони скеровуються з Міністерства з надзвичайних ситуацій України.

Основними завданнями комісій з евакуації відповідних суб'єктів господарської діяльності є: розроблення планів евакуації, на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру; організація та проведення у евакуації; установи чи організації щодо забезпечення проведення евакозаходів; визначення основних напрямів роботи щодо проведення евакозаходів; підготовка і перепідготовка особового складу евакокомісії.

Забезпечення техногенної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності суб'єктів господарювання. Забезпечення техногенної безпеки покладається на відповідних посадових осіб, керівників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними нормативно-правовими або цивільно-правовими актами. Заходи щодо забезпечення техногенної безпеки враховуються органами архітектури, замовниками, забудовниками, проектними та будівельними організаціями при проектуванні та забудові населених пунктів, будівництві, розширенні, реконструкції та технічному переоснащенні потенційно небезпечних об'єктів, установ та організацій.

Відповідні заходи, які обумовлюють стан захищеності населення і об'єктів від негативних наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру,

повинні виконуватись як окремі розділи або визначатись у розділах інженерно-технічних заходів цивільного захисту та техногенної безпеки до проектів планування та забудови проектів (робочих проектів) ПНО або ОПН, їх будівель та споруд, погоджених зі спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань цивільного захисту і затверджених у порядку, установленому спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань будівництва і архітектури [43,44].

4.6 Розташування джерела місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату

Для місцевого освітлення (у складі комбінованого освітлення) слід використовувати світильники з непрозорими відбивачами. Світильники місцевого освітлення слід розташовувати так, щоб їх елементи, що світять, не потрапляли прямо у поле зору працівників як даного так і інших робочих місць [43,44].

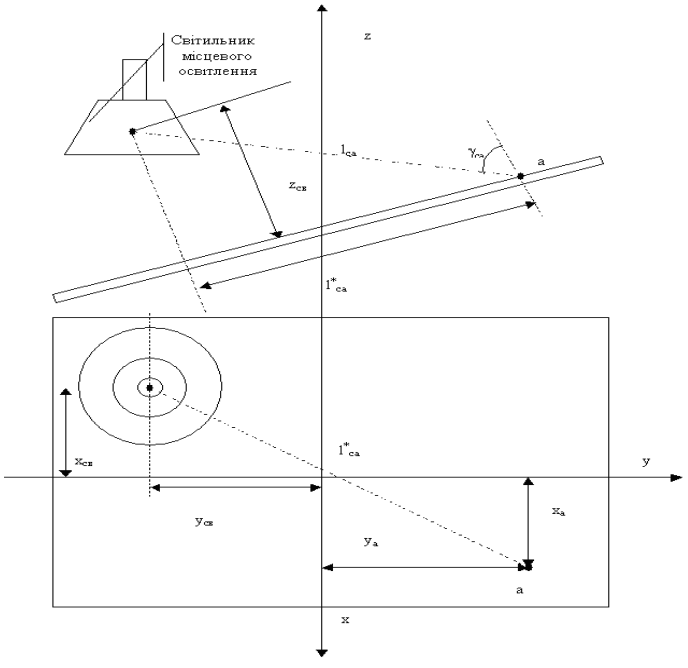


Рисунок 4.1 – Розташування світильника місцевого освітлення

У світильнику використовується лампа розжарювання типа БК-215-225-60 потужністю 60 Вт.

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами виконання роботи можна зробити наступні висновки:

1) за основу дослідження і розробки було використано принцип безпосереднього підведення УФ випромінювання до зони зараження за допомогою кварцового оптоволокна;

2) було використано кварцеве свіловодне волокно, виготовлене із плавленого кварцу (99.998% SiO_2) з діаметром - 4 мм;

3) у роботі були проведені розрахунки для прямого узгодження світловода і джерела випромінювання, для випадку мікролінзи, для випадку сферичної лінзи. Розрахунки показали переваги мікролінзи за ефективністю світлопередачі, але зважаючи на те, що технологія отримання мікролінз є доволі складною, і отже, вартість такого елемента є суттєвою, у якості узгодження обираємо узгодження за допомогою сферичної лінзи;

4) для забезпечення максимального за потужністю потоку УФ випромінювання, на ділянці світловода, яку безпосередньо використовуємо для знезараження, робимо технологічні заглиблення і покриваємо імерсійною речовиною із показником заломлення, який приблизно дорівнює показнику заломлення кварцового світловода (стирол акрилова емульсія);

5) у якості джерела випромінювання використати InGaN світлодіод GG-3535UVC-1620 китайського виробництва, для стабільного функціювання якого був використаний універсальний LED-драйвер на сеціалізованій мікросхемі CN5711;

6) у якості реєстратора обрано УФ фотодіод OPT301з вбудованим підсилювачем;

7) усі елементи системи мають добре узгодження за спектральними характеристиками по довжині хвилі УФ випромінювання – 260 – 280 нм;

8) для забезпечення контролю параметрів і надійного функціювання системи знезараження у роботі використовувався мікроконтролер MSP430;

9) функціональність схеми підтверджено моделюванням у середовищі САПР Proteus.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках медичних мікроелектронних інформаційних систем;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Перелік посилань

1. Інфекційні хвороби (підручник) / за ред. О. А. Голубовської. Київ: ВСВ «Медицина» (4 видання, перероблене і доповнене). 2022. 464 С.

2. Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» N 1645-III від 6 квітня 2000 м. Київ [1645-14]; остання редакція від 11.06.2009 (чинний).

3. Матеріали сайту компанії Трейдінг URL : https://ctrading.com.ua (дата звернення 01.03.2025).

4. Мінакова К. О. Квантова електроніка : підручник / К. О. Мінакова, Р. В. Зайцев, М. В. Кіріченко ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Дніпро : Середняк Т. К., 2023. 187.

5. Шмирьова Л. М. Квантова електроніка : Навчальний посібник Частина 1. Для студентів факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського усіх форм навчання / Л. М. Шмирьова, О. М. Бевза, Н. В. Слободян. Київ :: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 98 с.

6. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. Кн. 1. 376 с

7. Bates, Regis J (2001). Optical Switching and Networking Handbook. New York: McGraw-Hill. с.

8. Nenchev M., Deneva M., Yasser A., Suat T., Chassagne L., Himbert M., Quantum electronics and optical techniques and devices for applications inbiology, atmosphere monitoring, optical communications and sciences // Journal of the

Technical University Sofia Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications” Vol. 19, 2013. 7 – 22.

9. Deneva M., M. Nenchev, Development of original, simple quantum electronics device with emission passively frequency locked at atomic absorption line, // Proc. Intern. Confer.“Laser technology and Lasers”, Bulg., 2005, 37-45.

10. Колесник Ю. І. Елементи та пристрої квантової електроніки : навч. посіб. / Ю. І. Колесник, А. В. Кіпенський. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. 318 с.

11. Матеріали сайту компанії Eserver URL : https://is.gd/52Av4B (дата звернення 01.03.2025).

12. Матеріали сайту компанії DEPS URL : https://is.gd/Z0nJOq https://is.gd/52Av4B (дата звернення 01.03.2025).

13. Матеріали сайту The Fiber Optic Association, Inc. URL: https://www.thefoa.org (дата звернення 01.08.2025).

14. Матеріали сайту компані seltokphotonics URL : https://seltokphotonics.com (дата звернення 01.03.2025).

15. Ультрафіолетове випромінювання. Гігієнічні аспекти його використання в медицині: навч. - метод. посіб. до практ. занять та самостійної роботи студентів III курсів медичних факультетів з навчальної дисципліни «Гігієна та екологія» для спеціальності 222 «Медицина» / А. І. Севальнєв, М. П. Гребняк, Р. А. Федорченко, А. В. Куцак, О. В. Кірсанова, Л. П. Шаравара, І. А. Соколовська, Ю. В. Волкова. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2020. 114 с.

16. Терещенко М.Ф. Біофізика : підручник / М. Ф.Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 444 с.

17. Сколоздра С. В., Чайковський Б. П., Лецик О. С. Розрахунок і проєктування комбінованого ультрафіолетового випромінювача для

опромінення тварин Львів : Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького Том 11 № 3(42) Частина 2. 2009.

18. Матеріали сайту компанії Концерн – Трейдінг URL : https://ctrading.com.ua/ua/tekhnolohii/ultrafioletove-znezarazhennya (дата звернення 01.03.2025).

19. V. Burgonskyi, S. Mykolaichuk, V. Kholin, V. Voitsekhovych Optimization of photoactivated periodontal tissue disinfection by applying the developed irradiation nozzle. Науково-практичний фаховий журнал «Сучасна стоматологія». Київ : №1 2001. С. 30 - 32.

20. Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу. Хімія склоподібних матеріалів[Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт.програмою «Хімічні технології неорганічних в'яжучих речовин, кераміки, скла таполімерних і композиційних матеріалів» спец. 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. : М. М. Племянніков, Н. В. Жданюк. Електрон. текст. дані (1 файл). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 74 с URL : la.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4360db2a-6cbe-4426-a076e68fb8f59657/content (дата звернення 01.03.2025).

21. Афанасьєва О. В. Функціональні матеріали оптоелектронної техніки. Частина друга. Навч. посібник. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 172 с.

22. Матеріали сайту компанії ОПТОКОН URL : https://optokon.ua/_optical_fiber (дата звернення 01.03.2025).

23. Матеріали сайту компанії ®MICQ URL : https:// micquartz.com (дата звернення 01.03.2025).

24. Матеріали сайту компані Transfer Multisort Elektronik URL : https://www.tme.eu/ua (дата звернення 01.03.2025).

25. Jenkins, J. E. Optical Sensing Techniques and Signal Processing LC Connector and Adapter. AEN 70, revision 2, 1 november 2002.

26. Волоконна та інтегральна оптика : Навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації « Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології» та спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» спеціалізації «Фотоніка та оптоінформатика» / Уклад. : О. К. Кучеренко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 216 с.

27. Матеріали сайту компанії «LIMO» URL: http://www.limo.de/ru/produkty-i-reshenija/mikrooptika/reshjotki-mikrolinz/ (дата звернення 01.03.2025).

28. Кучеренко О. К. Волоконно-оптичні датчики для автоматизованих інформаційних та інтелектуальних систем : підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані системи та технології», спеціалізації «Комп’ютерно-інтегровані оптико-електронні истеми і технології»/ О. К. Кучеренко. «КПІ ім. Ігоря Сікорського» . Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 113 с.

29. Пасічник М. В., Куліш І. М., Сарібеков Г. С. Дослідження компонентів полімерної композиції за оптичнми показниками для нанесення покриття на текстильний матеріал / Східно-Європейський журнал передових технологій. вип. 3/7 (45). 2010 с. 46-48.

30. Матеріали сайту компанії Guangmai Electronics Co., Ltd. URL: https://ua.gmleds.com (дата звернення 01.03.2025).

31. Матеріали сайту компанії Dongguan Zhiding Electronics Technology Co., Ltd URL: https://ua.allight-zd.com/about-us (дата звернення 01.03.2025).

32. Матеріали сайту компанії Zhengzhou Uvwave Electronic Technology Co., Ltd. URL: https://ua.uvwavetek.com (дата звернення 01.03.2025).

33. Матеріали сайту компанії Shanghai Consonance Electronics Incorporated URL: https://www.consonance-elec.com (дата звернення 01.03.2025).

34. Бондаренко І. М., Бородін О. В., Карнаушенко В. П. Сучасна компонентна база електронних систем : навч. посібник для студентів ЗВО. / І. М. Бондаренко, О. В. Бородін, В. П. Карнаушенко. –Харків : ХНУРЕ, 2020. 268 с.

35. Щербак Я. В. Нерубацький В. П., Івакіна К. Я. Мікросхемотехніка електромеханотронних систем : підручник / за заг. ред. Я. В. Щербака. Харків : Видавець Мачулін Л. І., 2024. 260 с.

36. Кучерук, В. Ю. Умовні графічні позначення на електричних схемах : довідник / В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, О. Г. Ігнатенко. Вінниця : ВНТУ, 2013. 113 с.

37. Цифрова схемотехніка : підручник / Л. Л. Верьовкін, М. В. Світанько, Є. М. Кісельов та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.

38. Матеріали сайту компанії ROITHNER LASERTECHNIK GmbH https URL: https://www.roithner-laser.com (дата звернення 01.03.2025).

39. Матеріали сайту DISTANCIONKA URL: https://distancionka.com/ua (дата звернення 01.03.2025).

40. Матеріали сайту компанії Texas Instruments Incorporated URL : https://www.ti.com (дата звернення 01.03.2025).

41. On-line симулятор програми САПР Proteus URL: https://www.labcenter.com/buy-vsm (дата звернення 01.03.2025).

42. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук. Тернопіль, 2014. 272 с.

43. Бєлоконь К. В., Рижков В. Г., Куріс Ю. В., Манідіна Є. А. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Запоріїжжя : ЗДІА, 2015. 180 с. URL http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356296.pdf.

44. Бєлоконь К. В., Суржицька Л. А., Цимбал В. А., Карнаух А. А. Цивільний захист : конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 69 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/do2018/f356329.pdf.

Додаток 1

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
ІІ Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

15–16 травня 2025 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2025

УДК 330.341.1-027.542(062.552)
І-62

Редакційна колегія:

В. В. Храпкіна, доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ);

О. Г. Вагонова, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної економіки, підприємництва та публічного управління, НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)

Рекомендовано до друку
Рішенням Вченої ради Запорізького національного університету
(протокол № 12 від 01 липня 2025 року)

І-62 **Інженерні інновації та розбудова національної економіки** : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (15–16 травня 2025 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. – 960 с.

ISBN 978-617-554-649-9

У виданні представлені тези доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (15–16 травня 2025 року), які підготовлені за такими базовими тематичними напрямами, що охоплюють всі спеціальності підготовки ЗдВО І–ІІІ рівня вищої освіти: Цифрова трансформація: маркетинг; бізнес-середовища, публічне управління та адміністрування, право; Європейські інтеграційні процеси розбудови національної економіки: облік, фінанси, оподаткування, аудит; страхування, фондовий ринок; Фізична електроніка та біоінженерія: тренди розвитку; Інженерна екологія; Сучасні технології та тренди кольорової і чорної металургії; Інновації в інженерії програмного забезпечення; Електрична інженерія: відновлювані джерела енергії, «зелена» воднева енергетика, інтеграція в енергетичну інфраструктуру Європи; Архітектура та будівництво: фундатор сучасних будівельних технологій; Механічна інженерія: сучасне обладнання та новітні технології в галузях промисловості; Філософія управління та адміністрування: ризик-менеджмент, екологічний менеджмент; сталий розвиток; Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка: сучасні виклики та перспективи.

Для науковців, держслужбовців, представників бізнесу, аспірантів, студентів закладів вищої освіти та зацікавлених організацій.

УДК 330.341.1-027.542(062.552)

© Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету, 2025
© Автори статей, 2025

ISBN 978-617-554-649-9

СЕКЦІЯ 1
ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ: МАРКЕТИНГ, БІЗНЕС-СЕРЕДОВИЩЕ, ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ, ПРАВО

Ажажа М. А., Дашков А. О.
Економічні, соціальні та демографічні аспекти, що впливають на якість людського капіталу в регіонах України 24

Ажажа М. А., Цикін Д. С.
Інноваційно-цифрові методики оцінки моделей регіонального розвитку 28

Бак Н. А., Українець І. З.
Цифрові інструменти вдосконалення механізму справляння податку на додану вартість 32

Брюховецька Н. Ю., Булєєв І. П.
Управління людським капіталом підприємств в умовах цифрової трансформації, воєнного та повоєнного відтворення 35

Ващенко А. А.
Розвиток інформаційного маркетингу як інструмент удосконалення маркетингової діяльності підприємства в умовах цифрової економіки та турбулентного середовища 39

Венгер О. М., Жихар Г. Д.
Сутність механізмів інформаційно-аналітичного забезпечення управлінських процесів у публічній сфері 41

Голомб В. В., Голомб В. В.
Аналіз сучасних тенденцій розвитку електронної комерції 45

Голомб В. В., Селезньов К. О.
Роль цифрових технологій у розвитку біржових торгів 49

Десна А. М.
AI MAP як складова інноваційної екосистеми України 52

Драчук Ю. З., Панькова О. В.
До проблем управління вітчизняного бізнес-середовища в умовах глобалізації та ймовірного захисту 54

Дуда Г. Б., Купчинська Т. А.
Інструменти візуалізації даних у маркетингу 58

Дятлова Ю. В., Карпелянський А. Р.
Аналітичний огляд сучасного стану металургійної галузі східного регіону України 61

Биткін С. В., Критська Т. В.
Моделювання та прогнозування нелінійного впливу концентрації носіїв заряду на щільність дислокацій у ізовалентно легованому кремнії (SiGe) . . . 347
Виноградов Д. Д., Небеснюк О. Ю.
Мікроелектронний пристрій на сонячних панелях для живлення гаджетів . . . 351
Гурін М. Р., Ніконова А. О.
Методи реалізації моніторингу сердечного ритму . . . 353
Душко Д. В., Ніконова А. О.
Дослідження та розробка системи контролю функціональних показників для реабілітаційного приладу . . . 357
Клімашин С. І., Ніконова А. О.
Дослідження ефективних методів передачі енергії та розробка бездротового зарядного пристрою для мобільних роботів . . . 359
Ключко А. В., Ніконова А. О.
Розробка системи контролю вологості та іонізації повітря у довкіллі . . . 362
Nebesniuk O., Nikonova Z.
Electrical stimulator for visual analyzer . . . 365
Оглобліна В. О., Плиска О. В., Безрукова В. С.
Інтеграція української енергосистеми в енергетичну інфраструктуру Європи в контексті глобальних екологічних викликів . . . 367
Павленко Д. В., Янченко Д. Р., Світанько М. В., Верьовкін Л. Л.
Однофотонна система реєстрації поляризованого випромінювання . . . 370
Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Маренгольц К. В.
Розробка портативної мікроелектронної системи знезараження питної води . . . 373
Стрункін Г. М.
Використання регресійних моделей в електромеханічних системах та перетворювальній техніці . . . 375

СЕКЦІЯ 4
ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТРЕНДИ КОЛЬОРОВОЇ І ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Bielokon K., Pirohova I., Malovanyy M.
The problematic issues of the regulatory framework for the functioning of regional environmental monitoring centers . . . 379

information-materials/2025/on-the-electricity-market-in-ukraine-national-plan-until-2030 (дата звернення: 01.05.2025).
3. Україна може стати надійним постачальником зеленого водню до ЄС. *UkraineInvest*. (URL: https://ukraineinvest.gov.ua/news/06-06-22-2/ (дата звернення: 02.05.2025).
4. ENTSO-E. *НЕК «Укренерго»*. URL: https://ua.energy/entso_e.html (дата звернення: 30.04.2025).

УДК621.396

Павленко Денис Володимирович
магістрант 1курсу,
кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

Янченко Дмитро Романович
магістрант 1курсу,
кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

Світанько Микола Вікторович
кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент
кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

Верьовкін Леонід Леонідович
к. т. н., доцент, доцент
кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

ОДНОФОТОННА СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ ПОЛЯРИЗОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Успіхи інтегральної електроніки та лазерної техніки сприяли появі інтегральної оптики. У 1970-х роках з'явився напрям досліджень під назвою «оптична бістабільність» (керування світлом за допомогою світла). Для побудови цифрового оптичного процесора треба було створити оптичний тригер – пристрій із двома стійкими станами (низької та

високої прозорості). За перше десятиліття після демонстрації у 1974 р. оптичної бістабільності у парах Na було запропоновано декілька сотень варіантів оптичних пристроїв із гістерезисним характером залежності вихідної потужності світла від вхідної [1–3]. Зазвичай, оптичну бістабільність пов'язують із двома рівнями інтенсивності на виході пристрою, але так само можна створити пристрій з перемиканням стану поляризації. Із появою перетворювачів частоти лазерного випромінювання такий пристрій був реалізований на базі нелінійних кристалів [4–7].

У роботі пропонується розробка однофотонної системи реєстрації полязованого випромінювання, яка, фактично, є пристроєм із перемиканням стану поляризації. Основним матеріалом перетворення випромінювання АІГ лазера в УФ було обрано матеріали $RbTiOPO_4$ (RTP) та β-BaB_2O_4 (BBO), як найбільш привабливі за своїми фізико-оптичними характеристиками [8–10]. Фізичні і поляризаційні характеристики системи представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Фізичні і поляризаційні характеристики однофотонної системи реєстрації полязованого випромінювання [8–10]

Довжина хвилі, мкм	Показник заломлення		Тип взаємодії	Кут синхронізму, °
	n_0	n_e		
Друга гармоніка				
λ_1 = 1,064 λ_2 = 0,532 λ_3 = 0,532	1,6545 1,6545 1,6742	1,5392 1,5392 1,5547	OOE EOE OEE	22,73 32,18 32,18
Четверта гармоніка				
λ_1 = 0,532 λ_2 = 0,532 λ_3 = 0,266	1,6742 1,6742 1,7585	1,5547 1,5547 1,6126	OOE EOE OEE	47,63 80,85 80,85
П'ята гармоніка (I +IV)				
λ_1 = 1,064 λ_2 = 0,266 λ_3 = 0,212	1,6545 1,7585 1,8518	1,5392 1,6126 1,6740	OOE EOE	51,14 56,98

Схема експериментальної установки по дослідженню генераційних і поляризаційних властивостей системи представлено на рисунку 1 [8–10].

Подальші дослідження показали можливість розширення спектрального діапазону випромінювання аж до вакуумного ультрафіолету [8–10].

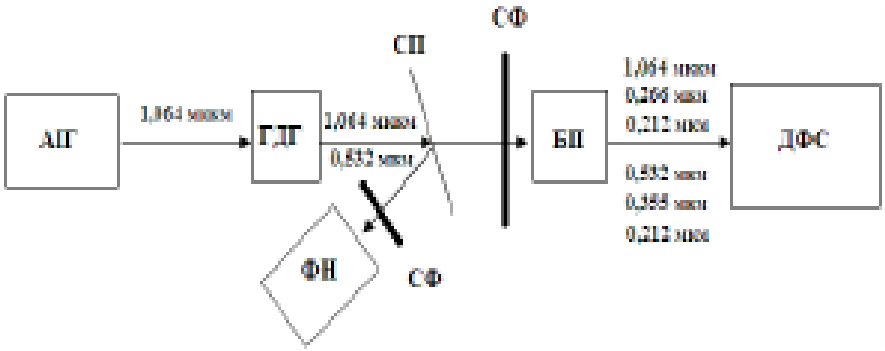


Рисунок 1. Схема експериментальної установки для дослідження генераційних і поляризаційних властивостей однофотонної системи реєстрації полязованого випромінювання:
ГДГ – генерація другої гармоніки; СП – світловідбиваюча пластина; ФН – фотометр наносекундний; СФ – світлофільтри; БП – блок перетворювачів у п'яту гармоніку; ДФС – диференційний спектрометр (ДФС-452)

Список використаних джерел

1. Vander Lugt A. B. Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Information Theory*. 1964. Vol. 10. N 2. P. 139–145.
2. Appeltant L., Soriano M. C., Van der Sande G. et al. Information processing using a single dynamical node as complex system. *Nature Communications*. 2011. Vol. 2. Article N 468. P. 1–6.
3. Paquot Y., Duport F., Smerieri A. et al. Optoelectronic reservoir computing. *Scientific reports*. 2011. Vol. 2. Article N 287. P. 1–6.
5. Bierlein J. D. and H.Vanherzeele H. *J. Opt. Soc. Am*. B 6. 1989. P. 622.
6. Eimerl D., Davis L., Velsko S. Optical, mechanical, and thermal properties of barium borate. *J. Appl. Phys*. 1987. Vol. 62. P. 1968–1983.
7. Wu Y., Sasaki T., Nakai S. CsB_3O_5:A new nonlinear optical crystal. *Appl. Phys. Lett*. 1993. Vol. 62. P. 2614–2615.
8. Mori Y., Kuroda I., Nakajima S. New nonlinear optical crystal: Cesium lithium borate. *Appl. Phys. Lett*. 1995. V. 67. P. 1818–1820.
9. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Pisarevsky A. I. et al. Sum friquensy radiation in RTP cristals. In *Proc. Laser Optics*. 90. Leningrad. 1990. P. 440.
10. Yu.S.Oseledchik Yu.S., Osadchuk V. V., Prosvirnin A. L., Selevich A. F. Growth of BBO from Na_2O-NaF solution. *J. Crystal Growth*. 1993. V. 131. P. 199–203.
11. Oseledchik Yu.S, Pisarevsky A. I., Prosvirnin A. L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP cristal. *Optical Materials*. V. 3. 1994. P. 237–242.

Наукове видання

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
ІІ Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

15–16 травня 2025 року

Відповідальний редактор О. Побережець
Дизайн обкладинки А. Юдашкіна
Технічне редагування О. Гринюк
Верстка Ю. Семенченко

ГЕЛЬВЕТИКА
ВИДАВНИЧИЙ ДІМ
WWW.HELVETICA.UA

Підписано до друку 18.08.2025 р. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Cambria. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 56,03. Наклад 300. Замовлення № 1025-221.
Віддруковано з готового оригінал-макета

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел.: +38 (097) 723 06 08, +38 (095) 934 48 28
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach (WSZOP)
Департамент захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації
ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України»
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Києво-Могилянська Академія» Київський національний університет будівництва і архітектури Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

28-30 жовтня 2025 року

ЗАПРОШУЄМО ДО УЧАСТІ У

Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих учених та здобувачів вищої освіти

«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУСПІЛЬСТВА У СФЕРАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

(режим роботи – дистанційний)

Запоріжжя, 2025

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Шило Г.М. – голова оргкомітету, доктор технічних наук, професор, ректор ЗНУ.
- Метеленко Н.Г. – заступник голови оргкомітету, доктор економічних наук, професор, директор ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
- Бєлоконь К.В. – заступник голови оргкомітету, кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Члени оргкомітету:
- Bohdan Mochnacki – prof. drhab. ing., Rektor WSZOP;
- Амінов Р.Ф. – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету ЗНУ, голова Ради молодих вчених ЗНУ;
- Барабаш О.В. – доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри екології та ТЗНС Національного транспортного університету;
- Білоскурський Р.Р. – доктор економічних наук, ректор Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича;
- Воронкова В.Г. – доктор філософських наук, професор, завідувач кафедри управління та адміністрування ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
- Клопов І.О. – доктор економічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
- Коваленко В.Л. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
- Мальований М.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка»;
- Пірогова І.М. – заступник директора Департаменту захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації;
- Степова О.В. – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової та міжнародної роботи Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;
- Глущевська В.В. – здобувач, голова наукового товариства студентів, аспірантів та докторантів Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
- Ткаченко Т.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури;
- Трохименко Г.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій *Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова*;
- Тулушев Є.О. – завідувач відділу моніторингу та реагування на небезпеки ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України»;
- Храпкіна В.В. – доктор економічних наук, професор, кафедра маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська Академія»;
- Шмандій В.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

УДК621.396

Павленко Денис Володимирович
здобувач вищої освіти спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»
Янченко Дмтро Романович
здобувач вищої освіти спеціальності G5 «Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка»
Світанько Микола Вікторович
кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедра Електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення ІННІ ім. Ю.М, Потебні ЗНУ

РОЗРОБКА ОПТОВОЛОКОННОЇ ЗНЕЗАРАЖУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

У системі протиепідемічних заходів саме створення несприятливості населення до інфекційних хвороб займає одне з найбільш важливих місць. Стратегія ВООЗ щодо зниження смертності та захворюваності на інфекційні хвороби, насамперед серед дітей, передбачає обов'язкове впровадження ефективної специфічної імунізації населення. Виконання програм імунізації привело до значних успіхів у боротьбі з інфекційними хворобами.[1,2].

Сьогодні одним з найбільш поширених методів знезараження вважається ультрафіолетове (УФ) знезаражування [1]. У будь-якому відкритому джерелі можуть жити хвороботворні бактерії. Всі хвороботворні мікроорганізми, бактерії і віруси, що містяться у воді, тільки тоді зможуть завдати шкоди людському організму, якщо будуть інтенсивно розмножуватися. Але ультрафіолетове знезараження позбавляє їх такої можливості, тому негативний вплив мікроорганізмів зводиться до нуля. Для УФ знезараження сьогодні застосовуються хвилі досить вузького діапазону – від 250 до 270 нм. У цих рамках бактерицидна дія ультрафіолету набуває своє максимальне значення. Велика частина установок по знезараженню води ультрафіолетом використовує лампи низького ртутного тиску, які виробляють випромінювання довжиною в 260 нм, тобто оптимальну довжину хвилі [3,4].

Але, використання таких систем для знезараження невеликих за розмірами об’єктів є нераціональним, і навіть небезпечним. Тому актуальною є потреба у системах знезараження із невеликими габаритами та ефективним джерелом УФ випромінювання [1,5].

У роботі представлена оптоволоконна знезаражувальна система, яка має джерело випромінювання потрібного спектрального діапазона – напівпровільниковий УФ світлодіод LED260W з довжиною хвилі випромінювання λ=265 нм, та світловипромінюючу систему, яка складається із кварцевого овтоволокна та ділянки із нанесеним спеціальним імерсійним покриттям, що забезпечує безпосередній

транспорт УФ випромінювання до місця знезараження. На рисунку 1 представлена структурна схема, розроблюваної системи.

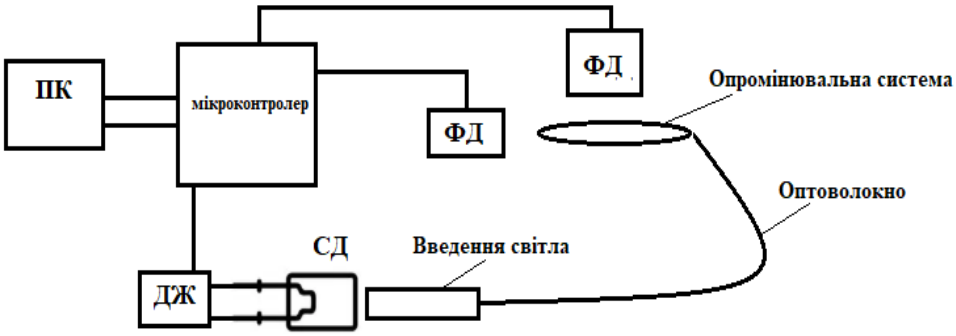


Рисунок 1 - Структурна схема оптоволоконної знезаражувальної системи

Схема складається із УФ світлодіода (СД), джерела живлення світлодіода (ДЖ), системи введення світла у оптоволокно, кварцевого оптоволокна, системи безпосередньої обробки (опромінювальна система), безпосередній контроль параметрів світлового потоку здійснюється фотоприймачами (ФД), для забезпечення автоматизації роботи схеми використовується мікроконтролер сумісно із персональним комп'ютером.

Використання розроблюваної системи має більш ефективне застосування, ніж у раніше розроблюваних аналогічних пристроях [6].

Список використаних джерел

1. Інфекційні хвороби (підручник) / за ред. О. А. Голубовської. Київ : ВСВ «Медицина» (4 видання, перероблене і доповнене). 2022. 464 С.

2. Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» N 1645-III від 6 квітня 2000 м. Київ [1645-14]; остання редакція від 11.06.2009 (чинний).

3. Матеріали сайту компанії Трейдінг URL: https://ctrading.com.ua (дата звернення 01.03.2025).

4. Ультрафіолетове випромінювання. Гігієнічні аспекти його використання в медицині: навч. - метод. посіб. до практ. занять та самостійної роботи студентів III курсів медичних факультетів з навчальної дисципліни «Гігієна та екологія» для спеціальності 222 «Медицина» / А. І. Севальнєв, М. П. Гребняк, Р. А. Федорченко, А. В. Куцак, О. В. Кірсанова, Л. П. Шаравара, І. А. Соколовська, Ю. В. Волкова. – Запоріжжя : ЗДМУ, 2020. 114 с.

5. Терещенко М.Ф. Біофізика : підручник / М. Ф.Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. 444 с.

6. Сколоздра С. В., Чайковський Б. П., Лецик О. С. Розрахунок і проєктування комбінованого ультрафіолетового випромінювача для опромінення тварин Львів : Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького Том 11 № 3(42) Частина 2. 2009.