

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва інституту/факультету)
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« ___ » _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою Медична інженерія
(назва)

спеціальності 163 Біомедична інженерія
(код та назва)

на тему: «Бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії»

Виконала: студентка 4 курсу, групи БМ-71
(шифр групи)

_____ Паламарчук Юлія Василівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ ст. викл. каф. БМІ Овчаренко Ганна Романівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант _____ 2, 3 Поліщук Олександр Сергійович _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант _____ 4 к.т.н., доцент кафедри ОПЦБ Демчук Гліб Вікторович _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль _____ інженер I категорії Андреев Петро Іванович _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент _____ ст.викл., к.фарм.н. каф. ТМБ Голембіовська Олена Ігорівна _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____
(підпис)

Київ – 2021

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

Факультет (інститут)

Біомедичної інженерії

Кафедра

Біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти

Перший (бакалаврський)

Спеціальність

163 Біомедична інженерія

Освітньо-професійна програма Медична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Паламарчук Юлії Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії

керівник роботи: ст. викл. каф. БМІ Овчаренко Ганна Романівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2021 р. № 1361-с

2. Термін подання студентом роботи: 02 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: загальна характеристика ультразвукової біомікроскопії, сучасні прилади для ультразвукової біомікроскопії, параметри біологічних середовищ ока людини (швидкість ультразвуку, густина, товщина і коефіцієнт загасання), еквівалентна модель проходження ультразвукової хвилі через структури ока людини.

4. Зміст роботи: методика проведення ультразвукової біомікроскопії, огляд існуючих приладів для біомікроскопії, вибір і обґрунтування елементної бази УБМ датчика, розробка функціональної схеми приладу і опис її дії, моделювання електричної схеми датчика у середовищі Proteus, підбір компонентів для блока живлення, створення креслення датчика у середовищі SolidWorks, побудова моделі

проходження ультразвуку через шари ока людини, розрахунок загасання коефіцієнта акустичного тракту ока людини.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація у MS Power Point.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2, 3	Поліщук О. С.		
4	Демчук Г. В. доц., к.т.н. каф. ОППЦБ		

7. Дата видачі завдання «19» травня 2021р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Огляд та аналіз літератури, що стосуються УБМ	Березень-квітень 2021 р.	
2	Розробка електричної схеми приладу з блоком живлення	Квітень 2021 р.	
3	Створення креслення датчика	Травень 2021 р.	
4	Побудова моделі проходження УЗ та розрахунок акустичного тракту	Травень 2021 р.	
5	Оформлення ДР	Травень-червень 2021 р.	
6	Отримання рецензії та відгуку	Червень 2021 р.	
7	Подання пакету документів до захисту ЕК	Червень 2021 р.	
8	Захист ДР	Червень 2021 р.	

Студент

(підпис)

Юлія ПАЛАМАРЧУК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Ганна ОВЧАРЕНКО

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: “Бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії”.

Обсяг дипломної роботи становить 50 сторінок, містить 12 ілюстрацій, 14 таблиць. Загалом опрацьовано 45 джерел.

Коли при огляді виявляються патології передньої частини ока, тоді треба дізнатися у чому саме причина та дослідити його структуру. Для цього потрібна ультразвукова біомікроскопія (УБМ). Наразі існуючі моделі датчиків біомікроскопії є стаціонарними, що збільшує їхні габарити і відповідно ускладнює функціональність пристрою. Отже, у такому разі доцільно використовувати безпроводний датчик, який буде передавати інформацію про дослідження.

Метою дипломної роботи є автономний бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії ока з урахуванням коефіцієнта загасання акустичного тракту.

Задачі дипломної роботи:

- огляд сучасних приладів для біомікроскопії;
- розробити електричну схему датчика у програмі Proteus і розрахувати її параметри;
- розробити джерело живлення для датчика;
- розрахувати коефіцієнт послаблення акустичного тракту ультразвукового перетворювача;
- розробити креслення датчика для ультразвукової біомікроскопії у середовищі SolidWorks.

Ключові слова: ультразвукова біомікроскопія, передній відділ ока, дослідження структур ока, офтальмоскопічні дослідження, безпроводна передача даних, УБМ датчик.

ABSTRACT

Topic of the thesis: "Cordless sensor for ultrasound biomicroscopy".

The volume of the thesis is 50 pages, it contains 12 illustrations, 14 tables. In total were processed 45 sources.

When the examination reveals pathologies of the anterior part of the eye, then it is necessary to find out what exactly is the cause and investigate its structure. This requires ultrasound biomicroscopy (UBM). Currently, existing models of biomicroscopy sensors are stationary. This increases their size and thus complicates the functionality of the device. Therefore, in this case, it is advisable to use a cordless sensor that will transmit inspection information.

The aim is an autonomous cordless sensor for ultrasound biomicroscopy of the eye, taking into account the attenuation factor of the acoustic path.

Tasks:

- review of modern devices for biomicroscopy;
- to develop the electrical circuit of the sensor in the Proteus program and to calculate its parameters;
- to develop a power supply for the sensor;
- to calculate the attenuation factor of the acoustic path of the ultrasound transducer;
- to develop a sensor drawing for ultrasound biomicroscopy in SolidWorks.

Key words: ultrasound biomicroscopy, anterior eye, examination of eye structures, ophthalmoscopic examination, cordless data transmission, UBM sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Методика проведення дослідження за допомогою ультразвукової біомікроскопії	9
1.2 Огляд елементної бази існуючих приладів біомікроскопії.....	13
1.3 Методи офтальмологічних досліджень та їх порівняння	17
Висновки до розділу 1	20
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ДАТЧИКА.....	21
2.1 Вибір і опис елементної бази приладу ультразвукової біомікроскопії.....	21
2.2 Опис функціональної схеми та дії приладу.....	22
2.3 Моделювання електричної схеми приладу.....	23
Висновки до розділу 2	29
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИЛАДУ	30
3.1 Побудова моделі проходження ультразвукової хвилі через структури ока .	30
3.2 Розрахунок акустичного тракту ока людини.....	31
Висновки до розділу 3	36
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	37
4.1 Характеристика датчика для ультразвукової біомікроскопії.....	37
4.1.1 Характеристика компонентів приладу	37
4.1.2 Складові частини приладу.....	38
4.1.3 Характер взаємодії приладу у системі «людина-об'єкт».....	39
4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються датчиком ультразвукової біомікроскопії, та заходи їх усунення.....	39
4.2.1 Небезпека ультразвукового випромінювання	39
4.2.2 Небезпека ураження людини електричним струмом.....	40
Висновки до розділу 4	43
ВИСНОВКИ.....	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	46
Додаток А	51

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ			
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Паламарчук Ю.В.</i>				<i>Бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Овчаренко Г.Р.</i>					4	5	6
<i>Реценз.</i>	<i>Голембіювська О.І.</i>							50
<i>Н. Контр.</i>	<i>Андреев П. І.</i>					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-71</i>		
<i>Затвердив</i>	<i>Шликов В. В.</i>							

ВСТУП

Для роботи сучасного офтальмологічного центру необхідно мати ефективне діагностичне обладнання. Особливе місце у його складі належить методам ультразвукової діагностики [1], які являються одними з найпопулярніших та найрозповсюдженіших методів медичної візуалізації [2].

Одним з високоінформативних і об'єктивних методів дослідження структур переднього відділу ока незалежно від прозорості оптичних середовищ вважається ультразвукова біомікроскопія [3], що також може виявити проблеми і на периферії сітківки [4].

Ультразвукова біомікроскопія набуває все більшого значення для діагностики різноманітних патологій переднього сегмента. Більшість лікарів-офтальмологів вже знайомі зі звичайними методами В-сканування, які працюють на нижчих звукових частотах (7,5-20 МГц). Ультразвукова біомікроскопія – це ультразвукова техніка, розроблена Павліном та Фостером у 1980 р., що дозволяє проводити огляд *in vivo* переднього очного сегмента у вигляді двовимірних зображень у сірому масштабі. Оцінка може бути як кількісною, так і якісною.

У випадку патології передньої частини ока можна дізнатися у чому саме причина та дослідити його структуру. Для цього потрібна ультразвукова біомікроскопія (УБМ). Наразі існуючі моделі датчиків біомікроскопії є стаціонарними, що збільшує їхні габарити і відповідно ускладнює функціональність пристрою. Отже, у такому разі доцільно використовувати безпроводний датчик, який буде передавати інформацію про дослідження.

Тема дипломної роботи: «Бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії».

Мета дипломної роботи: автономний бездротовий датчик для ультразвукової біомікроскопії ока з урахуванням коефіцієнта загасання акустичного тракту.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Задачі дипломної роботи:

- огляд сучасних приладів для біомікроскопії;
- розробити електричну схему датчика у програмі Proteus і розрахувати її параметри;
- розробити джерело живлення для датчика;
- розрахувати коефіцієнт послаблення акустичного тракту ультразвукового перетворювача;
- розробити креслення датчика для ультразвукової біомікроскопії у середовищі SolidWorks.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Методика проведення дослідження за допомогою ультразвукової біомікроскопії

Ультразвукова біомікроскопія (УБМ) – безконтактний, безболісний метод дослідження, що має високу роздільну здатність і не має обмежень на неінвазивний огляд анатомічних структур переднього відділу ока, дозволяє виявити патологічні процеси та ступінь їх важкості, а також забезпечує детальну оцінку цих структур [5-7].

Завдяки можливості дослідження всіх середовищ передньої частини людського ока, що легко і важко діагностуються, навіть в умовах зниженої прозорості оптичних середовищ, методу ультразвукової біомікроскопії надається перевага перед всіма іншими існуючими методами огляду.

Ультразвукова біомікроскопія використовується для вивчення стану мембрани у випадках набряку рогівки, коли не можливо чітко роздивитися структуру передньої частини ока за допомогою щілинної лампи [8].

Ультразвукова біомікроскопія відіграє важливу роль у діагностиці травм якими-небудь уламками [9], ретинопатії недоношених дітей [10] та глаукоми [11]. За її допомогою можна роздивитися й інші структури ока з роздільною здатністю, що сягає близько десятків мікрометрів [12].

Завдяки високій роздільній здатності, інформативності ультразвукову біомікроскопію використовують для діагностики патології кута передньої камери, структур, що знаходяться за райдужкою і недоступні для світлового дослідження. Тому, ультразвукову біомікроскопію застосовують для:

- одержання інформації про дефекти рогівки;
- оцінки стану кришталика;
- оцінки кута передньої камери та іридо-кришталікової діафрагми;

- діагностики пухлин переднього відділу ока;
- якісний і кількісний аналіз стану хірургічних шляхів потоку внутрішньоочної рідини;
- визначення взаємовідношення між інтраокулярною лінзою і внутрішньоочними структурами [2].

Також може застосовуватися для визначення відношення між фактичними імплантатами й анатомічними структурами, що знаходяться всередині ока, з розрахунками відстані між лінзою й ендотелієм рогівки або кришталика, а також для розташування і відцентрування інтраокулярної лінзи.

Під час процедури можна дослідити такі структури ока: повіки, кон'юктиву, рогівку, кришталик, склеральну частину, райдужку, сітківку, очне дно [5], циліарне тіло, задню і передню камери [13].

Для проведення ультразвукової біомікроскопії є деякі протипоказання – запальні й інфекційні захворювання гострої стадії, виразки, ерозії рогівки та проникні поранення з випаданням оболонки.

Під час біомікроскопічного огляду для кожної структури ока досліджується різна його частина. Наприклад, у випадку рогівки – передня і задня поверхні, інші тіла, а при виявленні змін вже визначається місце, глибина і розміри. Для кришталика отримується зріз, за допомогою якого визначається його форма і стан, і перевірка на ділянки помутніння. Для скловидного тіла – прозорість, виявлення запалення, якщо воно є. В очному дні – стан сітківки, зорового нерву на пошкодження (розриви сітківки), присутність запального процесу [5, 14].

Технологія ультразвукової біомікроскопії базується на високочастотних перетворювачах від 50 МГц до 100 МГц, які застосовуються у режимі В-сканування клінічного сканеру [14, 15].

Перетворювачі високої частоти забезпечують тонку роздільну здатність поверхневих структур, у той час, як нижчої частоти – збільшення глибини проникнення. Роздільна здатність коливається від 20 мкм до 60 мкм [16].

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

Загальнодоступні пристрої працюють на частоті 48-50 МГц, забезпечуючи роздільну здатність у обох напрямках: бічному (50 мкм) та осьовому (25 мкм). Глибина проникнення у тканини становить приблизно від 4 мм до 5 мм [17].

У загальних випадках для ультразвукової біомікроскопії застосовується ультразвук високої частоти (35-100 МГц), що дозволяє робити оціночний огляд на глибину до 4-5 мм [13, 18].

Додаткова підготовка до процедури не потрібна. Біомікроскопія проводиться у затемненому приміщенні [19]. Під час обстеження пацієнт лежить обличчям догори. Лікар знаходиться біля голови пацієнта. Перед скануванням необхідно ввести анестезію. Дослідження проводиться через імерсійне середовище – дистильована вода або фізіологічний розчин, за допомогою імерсійного кільця або ж насадки на відповідний ультразвуковий (УЗ) датчик (рис. 1.1) [2, 20].

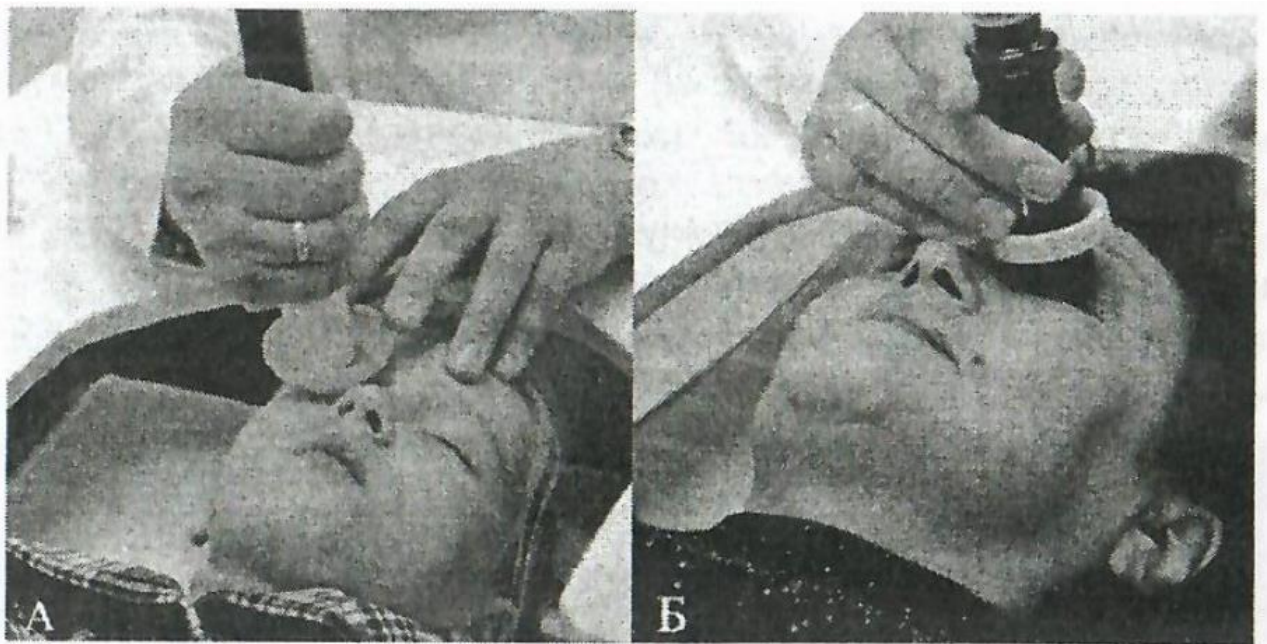


Рисунок 1.1 – Проведення ультразвукової біомікроскопії: а) з імерсійним кільцем; б) імерсійною насадкою [2]

Ультразвуковий зонд розташовується перпендикулярно до структур, які потребують дослідження: кута передньої камери, рогівки, райдужки, циліарного тіла, циліарних відростків. Для огляду кожного квадранту очного яблука необхідно

фіксувати погляд пацієнта у сторону, яка протилежна від потрібного квадранта ока [2].

Під час проведення дослідження зображення з приладу ультразвукової біомікроскопії передається у реальному часі в мікроскопічній роздільній здатності. Ця особливість методу ультразвукової біомікроскопії підкреслює порушення, що розвиваються у передньому відділі ока [21].

Отримання акустичного зображення відбувається наступним чином. Зонд забезпечує випромінювання ультразвукових хвиль у потрібних напрямках та приймання відбитих ультразвукових сигналів з таких само напрямлень. Сканування відбувається під час зміни напрямку випромінювання, тобто проводиться огляд необхідної області дослідження – передній сегмент ока людини. Для уникнення втрат потужності ультразвукових хвиль між поверхнями, де проходить обстеження, і головкою датчика наноситься спеціальний гель, що є гарним провідним ультразвуку.

Зображення під час проведення дослідження фіксується з наступною їх кількісною і якісною оцінкою основних параметрів.

Морфометричне вимірювання структур передньої частини ока включає:

- глибину передньої камери;
- відстань «трабекула-райдужка», що характеризує відкриття кута передньої камери;
- відстань «трабекула-циліарні відростки» що характеризує функціональне середовище для райдужки і циліарних відростків і ступінь їх ротації спереду:
 - відстань «райдужка-циліарні відростки», що характеризує ступінь відкриття циліарної борозди і ступінь передньої ротації циліарних відростків;
 - відстань «циліарні відростки-кришталік», що характеризує довжину зв'язок [2].

Глибина передньої камери у міліметрах вимірюється перпендикуляром від ендотелію центральної зони рогівки до передньої поверхні кришталіка.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Діаметр борозди використовується для розрахунку параметрів інтраокулярних лінз.

Кут, що утворюється перетином лінії, яка є дотичною до ендотелію рогівки, і лінії, що проходить передньою поверхнею райдужки, дорівнює величині кута передньої камери.

При розгляді райдужної оболонки її форма є випуклою у нормі.

Товщину склери вимірюють у місці її найбільшої товщини, яке називається склеральна шпора.

Задня камера має форму правильного трикутника, де дві сторони утворені райдужкою і передньою поверхнею кришталика, а інша – циліарними відростками.

Проводиться оцінка розташування циліарних відростків, їх розмірів, наявності і глибина задньої камери, положення кришталика й інтраокулярної лінзи.

Досить велику увагу приділяють місцю розташування інтраокулярної лінзи у мішку, наявності або відсутності залишків кришталікових мас.

1.2 Огляд елементної бази існуючих приладів біомікроскопії

Датчик або трансд'юсер являється одним з найголовніших частин ультразвукового приладу, який доторкається до поверхні тіла пацієнта. Цей елемент перетворює електричну енергію в енергію ультразвукової хвилі, яка проходить через тканини людини, а також приймає відбиті хвилі і перетворює їх знову в електричну енергію.

Будь-який ультразвуковий датчик складається з конектора, кабелю і головки, яка проводить сканування [22]. Оскільки завданням даної роботи являється створення бездротового датчика, тоді кабель буде відсутнім у цього датчика ультразвукової біомікроскопії. Серцем ультразвукового датчика є

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

декілька кварцових п'єзоелектричних кристалів, які при взаємодії на них електричним струмом починають вібрувати і випускати звукову хвилю. При потраплянні звукової хвилі на ці кристали відбита звукова хвиля (ехосигнал) виробляє електрорушійну силу (ЕРС). Відповідно ці п'єзокристали разом з акустичною лінзою, узгоджувачами шарами та демпфером є основними складовими головки, яка сканує [23].

Головною характеристикою датчика являється його робоча частота. Чим вища частота, тим краща якість зображення.

Кількість складових елементів датчика і кількість приймально-передавальних каналів дозволяє визначити роздільну здатність і впливає на апертурні помилки зображення. Відповідно чим більша кількість компонентів і каналів, тим якісніше картинка.

Основне значення належить частині від всієї кількості складових компонентів датчика, яка формує ультразвукову хвилю.

Датчики для ультразвукової діагностики ока можуть працювати на частотах 15-60 МГц. Це пояснюється тим, що необхідно отримувати максимально деталізоване зображення з маленькими розмірами і глибиною залягання структур ока.

Сучасні датчики ультразвукової біомікроскопії можуть бути самостійними пристроями, що підключаються до ультразвукового апарату або прямо до комп'ютера або іншого засобу передачі інформації.

Офтальмологічний А/В сканер AVISO – це ультразвукова офтальмологічна система, що дозволяє проводити ультразвукове сканування всіх структур ока за допомогою 7 датчиків. Оскільки найбільш цікава, у даному випадку, є ультразвукова біомікроскопія, то розглянуто три датчики цього пристрою.

Датчик LIN50 (частота 50 МГц) дозволяє отримувати зображення реального часу без реконструкцій і розроблений для дослідження глаукоми, патологій рогівки і цилиарного тіла. Має мінімальне розсіювання відбитого сигналу.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Біометричний датчик ProBeam, що має лазерну вказівку для попередження проблем розузгодження, максимально суміщає оптичну вісь ока людини з віссю ультразвукової хвилі.

Стандартний біометричний датчик володіє функцією фіксації світла.

Ультразвуковий сканер з датчиком ультразвукової біомікроскопії Suoer SW-3200 має лінійний діапазон сканування 17 мм. Підходить як для повного, так часткового сканування ока. За його допомогою можна визначити наявність глаукоми.

Це обладнання підходить для діагностики рогівки, циліарного тіла, райдужки, передньої камери.

Ультразвуковий офтальмологічний В-сканер Tomey UD-8000 призначений для визначення патологій на передньому і задньому відділі ока.

Використання датчика ультразвукової біомікроскопії дозволяє детально роздивитися передню частину ока без порушень цілісності очного яблука, провести якісну і кількісну оцінку структури, уточнити просторові взаємовідносини рогівки, циліарного тіла, райдужки, кришталика при непрозорих заломлюючих середовищах. За допомогою мембранної водонепроникної кришки, яка використовується одноразово, забезпечується швидке і зручне проведення дослідження без використання гелю. Можна проводити огляд пацієнта у положенні стоячи [24-28].

Офтальмологічна ультразвукова система 4Sight дозволяє отримати збільшене зображення переднього сегмента ока людини, а також патології цих областей. Робоча частота датчика ультразвукової біомікроскопії, який входить до складу цієї системи, становить 48 МГц. Модуль UBM має додаткові функції: візуалізація високої роздільної здатності, гамма-налаштування, регулювання підсилення і діагностичні вимірювання [29].

Офтальмологічний ультразвуковий UBM-сканер використовує підключення до ноутбука або комп'ютера. Він схожий на товсту ручку, якою і відбувається перевірка переднього відділу ока без втрати сигналу (рис. 1.2).

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.2 – Вигляд офтальмологічного ультразвукового UBM-сканера [30]

Під час проведення огляду пацієнта запис ведеться з використанням двох функцій: у відеобуфер і запис Recording. Є можливість переглянути запис покадрово, що дозволяє провести більш інформативну діагностику. Також має високу роздільну здатність – 0,015 мм [30].

Отже, за оглянутими приладами, що мають по декілька датчиків, а особливо датчик ультразвукової біомікроскопії, прототипом для створення безпроводного було обрано офтальмологічний ультразвуковий UBM-сканер. Тому, що він функціонує як окремий пристрій для дослідження переднього сегмента ока людини, що відповідно вказує на менші розміри приладу і кращу його функціональність.

Для того, щоб ще підвищити функціональність, а також зменшити габарити датчика ультразвукової біомікроскопії, було вирішено замінити підключення кабелю на портативний модуль для передачі даних і подальшої їх обробки.

1.3 Методи офтальмологічних досліджень та їх порівняння

У залежності від застосованого методу дослідження відбувається різна діагностика відповідного середовища ока людини.

Серед методик офтальмоскопії важливе місце посідає дослідження за допомогою щілинної лампи. Під час проведення перевірки поле зору не велике, а периферія очного дна взагалі не помітна. Але можна оцінити тонку глибинну структуру очного дна за допомогою аналізу оптичних зображень, що виникають.

При роботі з щілинною лампою виникають деякі проблеми – зміщення лінзи від центру і при ковзанні змінюється відстань від лінзи до ока, що призводить до похибки діагностування.

Перевагою використання щілинної лампи є можливість регулювання довжини, ширини й інтенсивності світла, що дозволяє побачити найменші зміни у структурі людського ока.

За допомогою щілинної лампи можна діагностувати практично всі дефекти рогівки, помутніння в кришталику і скловидному тілі, також оцінити повіки, тканини і шкіру навколо очей, райдужку, поверхню ока і водянистої вологи.

Але при необхідності можна використати додаткові асферичні лінзи, які дадуть можливість провести огляд очного дна і помітити тонкі зміни на сітківці і судинній оболонці [31, 32].

Для визначення радіусу кривизни рогівки, що забезпечує гостроту зору, використовується метод офтальмометрії або кератометрії.

Вона може призначатися як передопераційна процедура при підготовці до лазерної корекції зору, імплантації інтраокулярних лінз або ж при підборі контактних лінз. Дослідження визначає оптичну силу біологічної лінзи ока. Також проводиться для оцінки результату хірургічного втручання.

За допомогою офтальмометрії можна виявити патологічні процеси такі, як:

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

– дистрофічні процеси рогівки, що викликають її деформацію і знижують зорові функції;

– дегенеративні зміни рогівки, що викликає потоншення, або ж при прогресуванні захворювання набуває вигляду шару;

– астигматизм;

– патологічні процеси при довготривалому носінні контактних лінз.

Найчастіше застосовується як контрольний етап діагностики після трансплантації рогівки.

Метод володіє досить високою точністю, що необхідна для корекції контактних лінз та визначення інтраокулярних лінз.

Основною особливістю кератометрії є повна відсутність прямого контакту приладу з оком людини і, відповідно, безболісність для пацієнта.

При проведенні перевірки не використовуються додаткові краплі, бо не відбувається контакт з рогівкою. Також процедуру можна проводити будь-кому [33-35].

Щоб визначити внутрішньоочний тиск потрібно застосовувати тонометрію ока. Цей тиск знаходиться в очному яблуці внутрішньоочної рідини. Відбувається зовнішня взаємодія на рогівку ока.

Цей метод вважається головним у діагностиці глаукоми.

При підвищенні очного тиску можуть виникати наступні причини:

– глаукома;

– порушення в гормональній системі;

– пухлини, запалення;

– травми.

Зниження показника внутрішньоочного тиску можливе через:

– гіпотонію;

– пошкодження;

– зміни в оболонці ока [36, 37].

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Порівняння методів офтальмоскопії за допомогою щілинної лампи з ультразвуковою біомікроскопією наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика застосування щілинної лампи та ультразвукової біомікроскопії

Щілинна лампа	Ультразвукова біомікроскопія
<p>Обмежене поле зору для діагностування. Оцінка периферії очного дна не можлива. Має досить багато протипоказань щодо проведення огляду. Можливість оцінки тонкої структури ока. Відбувається зміщення лінзи. Зміна відстані від лінзи до ока пацієнта. Діагностика тільки поверхневих шарів ока. Самостійне налаштування для роботи. Діагностика лише незначних помутнінь, пошкоджень.</p>	<p>Можливість дослідження всього переднього сегмента ока. Основні протипоказання відносяться до пошкоджень сітківки. Досить велика глибина проведеного дослідження. Необхідне підключення до спеціального пристрою для перевірки передньої частини ока. Має широкий спектр робочих частот. Потрібне проведення анестезії для користування насадками. Застосовується для точної діагностики.</p>

Оскільки, останнім часом, стає все більше людей з виявленнями проблемами з очима, що потребує досить точного аналізу і проведення подальшого лікування, тоді слід застосовувати ультразвукову біомікроскопію. Саме щілинна лампа зазвичай використовується у випадках, коли необхідно вперше зробити підбір контактних лінз. Далі – перевірка впливу носіння лінз на структуру ока.

Не менш важливим є визначення радіусу кривизни рогівки. Тому, порівняння кератометрії і ультразвукової біомікроскопії показано у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика кератометрії та ультразвукової біомікроскопії

Кератометрія	Ультразвукова біомікроскопія
<p>Не має протипоказань для застосування. Використовується без анестезії. Можливість визначити лише радіус кривизни рогівки. Зазвичай призначається як передопераційна процедура. Необхідна для визначення інтраокулярних або контактних лінз. Призначається для постійної перевірки при носінні контактних лінз. Необхідна перед лазерною корекцією.</p>	<p>Потрібне застосування спеціальних насадок. При запальних процесах та інфекційних захворюваннях не використовується. Потрібно робити анестезію. Дає кількісну та якісну оцінку основних параметрів. Визначає морфометричні зміни параметрів передньої частини ока. Не залежить від оптичних середовищ ока. Уточнення глибини залягання іншорідних тіл.</p>

Офтальмометрія застосовується тільки для оцінки кривизни передньої поверхні рогівки.

Основні порівняльні характеристики використання топометрії та ультразвукової біомікроскопії представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика топометрії та ультразвукової біомікроскопії

Топометрія	Ультразвукова біомікроскопія
Проводиться для вимірювання внутрішньоочного тиску, який може вказати на певні захворювання. Контактний спосіб, тобто має протипоказання.	Не має можливості вимірювати тиск очей. Є протипоказання. Також являється контактним способом із застосуванням анестезії. Використовується для перевірки всього переднього сегмента ока.

Отже, ультразвукова біомікроскопія є однією з методів діагностики всього переднього відділу ока з високою точністю. Якщо з'являються незначні невіршені проблеми, що не вирішуються ультразвуковою біомікроскопією, тоді у цьому разі доцільно використовувати метод, який може провести оцінку конкретної складової структури людського ока.

Висновки до розділу 1

Зроблено огляд сучасних датчиків для ультразвукової біомікроскопії, на основі яких обрано прототип і підібрано компоненти для електричної схеми. Описано технологію ультразвукової біомікроскопії.

Зроблено порівняння розповсюджених методів офтальмоскопічних досліджень.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ДАТЧИКА

2.1 Вибір і опис елементної бази приладу ультразвукової біомікроскопії

Як відомо, для офтальмологічних досліджень переднього відділу ока частота датчика повинна бути 15-60 МГц. У всіх існуючих датчиках робоча частота становить 48 МГц.

При створенні датчика ультразвукової біомікроскопії було обрано його робочу частоту, що складає 50 МГц. Це обумовлено тим, що чим більша частота, тим краща роздільна здатність поверхневих частин ока.

Тому, у розроблення електричної схеми датчика ультразвукової біомікроскопії необхідно включити конденсатори і резистори різних номіналів, 3 операційні підсилювачі одного типу, таймер і біполярний транзистор. Окрім цього, інформація, що надходить на головку датчика, повинна передаватися безпроводним модулем.

Конденсатор типу 0402YC103KAT2A володіє високою стабільністю, маленьким рівнем втрат, має мінімальну похибку номіналу і дуже малі габарити, що дає перевагу у створенні датчика ультразвукової біомікроскопії.

Операційний підсилювач типу LM328 має високий коефіцієнт підсилення, низьке споживання струму, можливість роботи у схемах із живленням від 3 В до 32 В, а також захист від короткого замикання, що призвело до вибору його як елемента приладу ультразвукової біомікроскопії.

Застосування мікросхеми таймера типу 555 пояснюється тим, що вона має свій дільник напруги, який задає верхній і нижній поріг спрацювання компараторів. Для того, щоб таймер був більш завадостійким потрібно використати конденсатор.

Транзистор типу 2N2222 найчастіше застосовується для схем з постійним струмом.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

Для передачі даних до 10 м з датчика на пристрій зчитування використано модуль Bluetooth HC-05, що з'єднано з платою Arduino Uno R3.

2.2 Опис функціональної схеми та дії приладу

Функціональну схему датчика ультразвукової біомікроскопії показано на рисунку. 2.1.

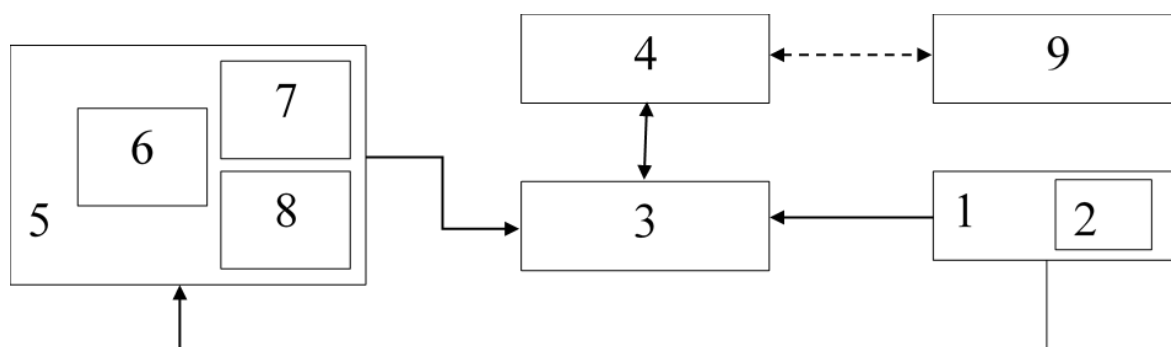


Рисунок 2.1 – Функціональна схема складових частин датчика ультразвукової біомікроскопії розроблено у графічному редакторі

Електричні зв'язки датчика ультразвукової біомікроскопії позначено суцільно, а безпроводна передача інформації відповідно штриховою лінією.

Для забезпечення автономного режиму роботи датчика ультразвукової біомікроскопії 1 з його електричною схемою 2 приєднується до блоку живлення 5, що складається з літій-іонного акумулятора 6, модуля зарядки TP4056 із захистом 7 і перетворювача напруги MT3608 8. Блок живлення, у свою чергу, підключається до мікроконтролера Arduino Uno R3 ATmega328 3.

Для передачі необхідної інформації вихід датчика ультразвукової біомікроскопії 1 підключається у аналоговий вхід плати Arduino Uno 3, до якого під'єднано дистанційний модуль Bluetooth HC-05 4. Після передачі отриманих даних з бездротового модуля інформація оброблюється пристроєм зчитування 9, що забезпечений спеціальним програмним забезпеченням.

У тканини надсилається короткий імпульс через датчик ультразвукової біомікроскопії. Частина хвиль проникають у тіло і доходять до меж поділу

середовищ, проникають далі, а частина – відбивається і фіксується датчиком. Амплітуда сигналу кодується за допомогою відтінків сірого кольору. За швидкістю розповсюдження звуку в окремих середовищах організму визначається час проходження ультразвукової хвилі, що і дає можливість зробити висновок щодо діагностуючого об'єкта.

2.3 Моделювання електричної схеми приладу

Розглянуто більш детально конструкцію головки датчика, яка ще називається ультразвуковим перетворювачем (рис. 2.2).

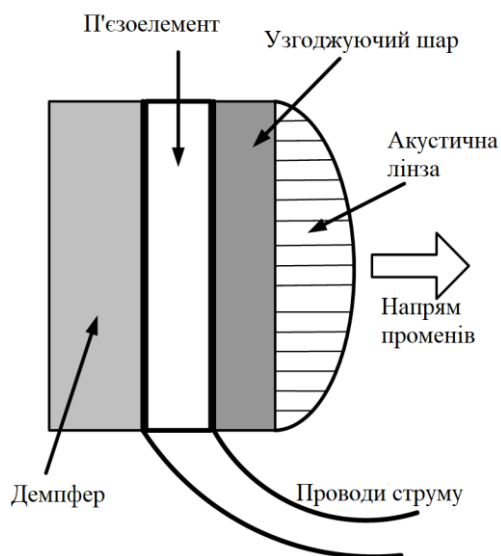


Рисунок 2.2 – Складові частини ультразвукового перетворювача датчика ультразвукової біомікроскопії розроблено у графічному редакторі

Генератором ультразвукових коливань датчика є п'єзоелемент або п'єзопластина, яка також має роль приймача відбитих хвиль.

Демпфер запобігає поширенню випромінювання у протилежному напрямку контролю об'єкта і збільшує роздільну здатність.

Узгоджувач необхідний для ефективного проникнення хвиль, тобто підвищення чутливості датчика, він має у складі різні полімерні матеріали.

Акустична лінза призначена для формування геометрії ультразвукового пучка. Вона виготовляється з спеціальної пластмаси, безпосередньо контактує з гелем і тілом пацієнта [38, 39].

Оскільки датчик генерує та приймає ультразвуковий сигнал, то у схему потрібно включати передавач та приймач.

Електричну схему датчика ультразвукової біомікроскопії без блока живлення було створено у програмі Proteus відповідно до підібраних компонентів і зображено на рис. 2.3.

На рис. 2.3 виділено частину схеми А, яка і є передавачем ультразвукових коливань. Номінали компонентів $R1$, $R2$ та $C2$ було спеціально підібрано відповідно до отримання необхідної частоти сигналу на виході ультразвукового передавача за формулою:

$$f = \frac{1,44}{(R2 + 2 \cdot R1) \cdot C2} \quad (2.1)$$

Частина схеми Б – це відповідно приймач ультразвукових коливань [40].

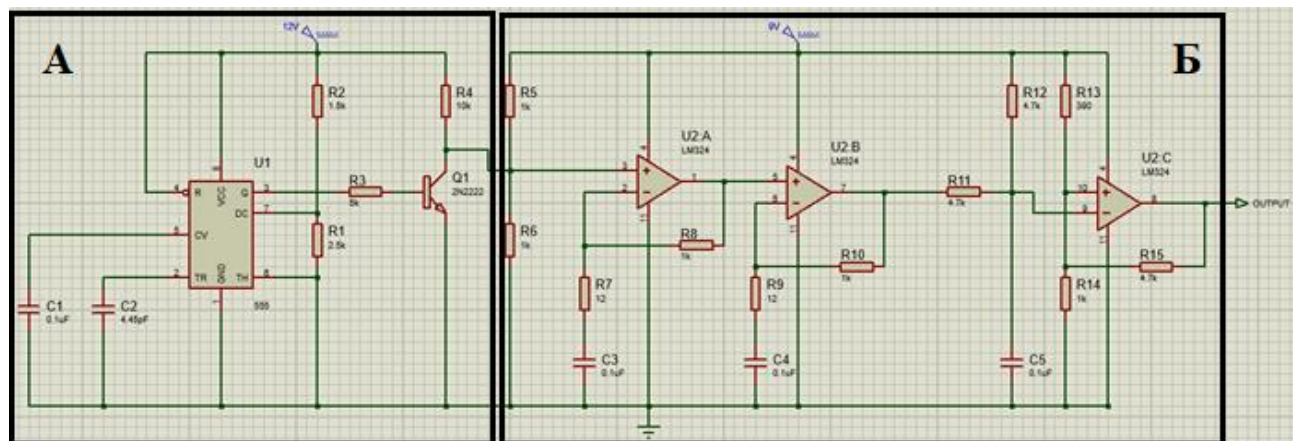


Рисунок 2.3 – Електрична схема датчика ультразвукової біомікроскопії: а) ультразвуковий передавач коливань; б) ультразвуковий приймач коливань розроблено у програмі Proteus

Для даного передавача частоту сигналу було обрано 50 МГц. Тому, за формулою 2.1 розраховано вихідну частоту ультразвукового передавача коливань:

$$f = \frac{1,44}{(1,5+2 \cdot 2,5) \cdot 10^3 \cdot 4,45 \cdot 10^{-12}} = 49,78392394 \cdot 10^6 \approx 50 \text{ (МГц)}.$$

Потрібно зазначити, що блок живлення датчика складається з трьох елементів – літій-іонний акумулятор з напругою 3,7 В і ємністю 800 мА×год, модуль для зарядки із захистом TP4056 та перетворювач напруги MT3608.

Модуль для зарядки (рис. 2.4) має функції захисту від перезарядки і повного розрядження акумулятора. Він має світлові індикатори червоного, який показує, що зарядка йде, і зеленого, що вказує на повну зарядку модуля, кольорів. Досягаючи напруги 4,2 В, зарядка відключається.

Технічні характеристики даного модуля наведено у таблиці 2.1 [41].

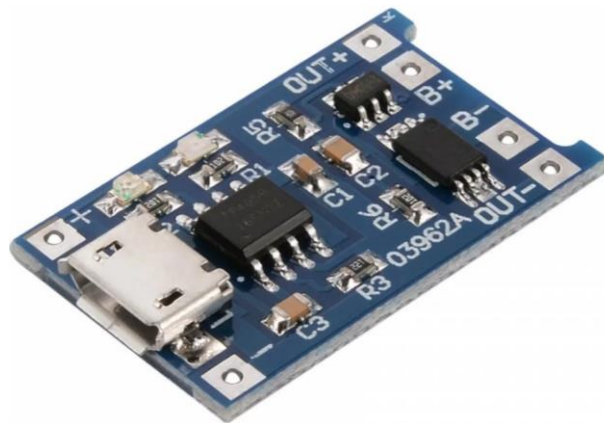


Рисунок 2.4 – Вигляд модуля зарядки з захистом TP4056 [41]

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики модуля зарядки із захистом

Характеристика	Значення
Вхідна напруга	4,5-5,5 В
Напруга повної зарядки	4,2 В
Струм заряду	1 А
Робоча температура	-10...+85°C
Поріг захисту від перезарядки	4,2-4,3 В
Поріг захисту від розрядження	2,3-2,5 В
Поріг захисту за струмом розрядження	3 А
Розмір	5 × 19 × 25 мм
Маса	5 г
Вхідний роз'єм	mini USB, micro USB
Режим зарядки	лінійна 1 %

Перетворювач напруги MT3608 (рис. 2.5) змінює значення вихідної напруги у вищу сторону. Схема має захист від перегріву.

Технічні характеристики перетворювача напруги наведено у таблиці 2.2 [42, 43].



Рисунок 2.5 – Вигляд перетворювача напруги MT3608 [42]

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювача напруги MT3608

Характеристика	Значення
Вхідна напруга	2-24 В
Максимальний вихідний струм	2 А
Струм споживання	100 мА
Робочий діапазон температур	-40...+85°C
ККД	93 %
Робоча частота	1,2 МГц
Вихідна напруга	до 28 В
Розмір	36 × 17 × 14 мм

Схему з'єднання елементів блоку живлення датчика ультразвукової біомікроскопії показано на рисунку 2.6.

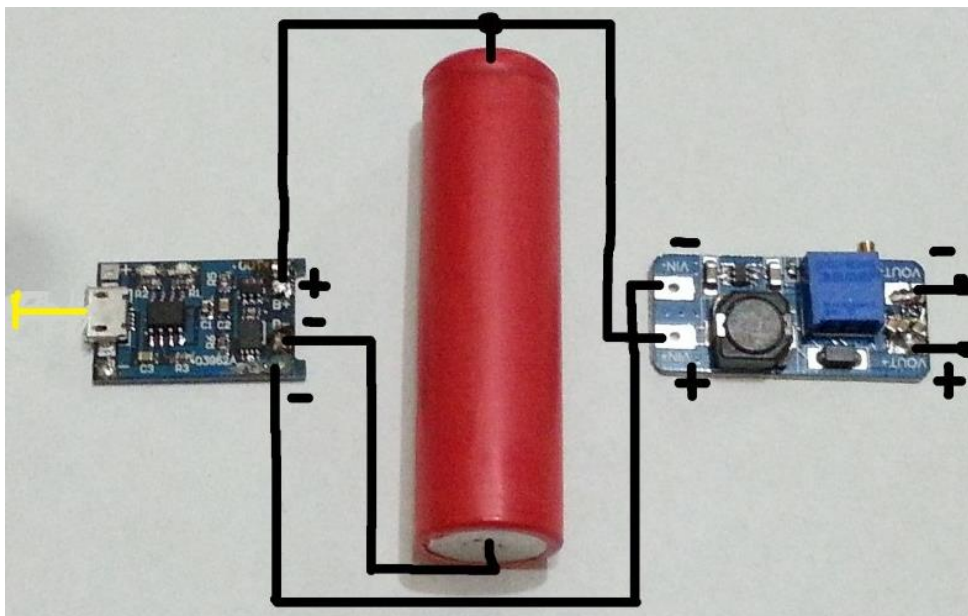


Рисунок 2.6 – Підключення компонентів блоку живлення [44]

На рис. 2.6 модуль зарядки TP4056 живиться за допомогою підключеного кабеля USB, що приєднується до його ж входу, який позначено жовтим кольором.

Після подачі живлення чорними провідниками з'єднується літій-іонний акумулятор з модулем захисту і відповідно підсилювачем напруги MT3608. Виходи з перетворювача напруги підключаються до мікроконтролера Arduino Uno, таким чином, забезпечують живлення датчика ультразвукової біомікроскопії.

Для забезпечення безпроводності передачі даних з датчика ультразвукової біомікроскопії на рисунку 2.7 показано підключення модулю Bluetooth HC-05 до плати Arduino Uno у програмі Fritzing.

Вихід OUTPUT датчика ультразвукової біомікроскопії приєднується до аналогового входу A0 плати Arduino Uno, який позначено висячим сірим проводом. Синій RXD і червоний TXD проводи підключаються у входи RX і TX плати, які відповідають за прийом і передачу даних відповідно. Живлення модуля відбувається через зелений провід, що дорівнює +5 В на платі, а вхід VCC на модулі. Жовтий провід GND – це з'єднання з землею на платі і модулю.

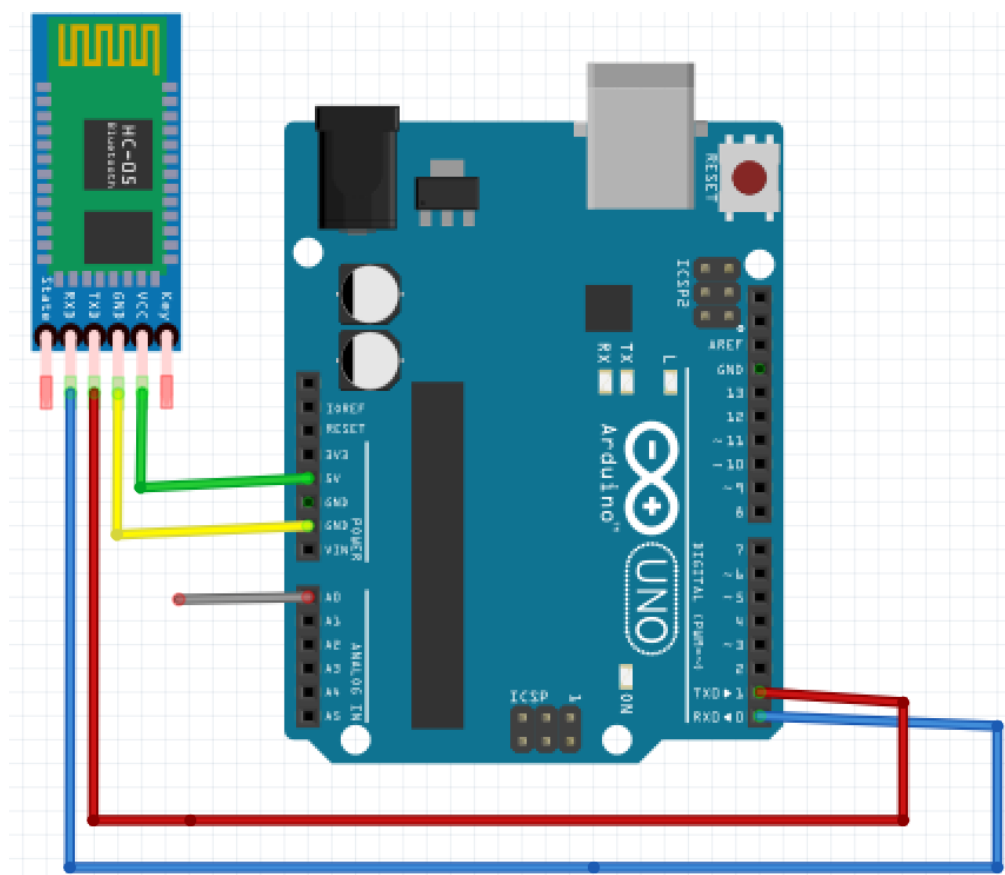


Рисунок 2.7 – Підключення модуля Bluetooth HC-05 до плати Arduino Uno розроблено у програмі Fritzing

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

БМ71.14.2705.1361.ПЗ

Лист

27

Для застосування Bluetooth модулю необхідно, щоб його частотний діапазон роботи не співпадав з робочими частотами іншого медичного обладнання, тобто приладу, до складу якого входить датчик ультразвукової біомікроскопії.

Робоча частота Bluetooth модуля становить 2,4-2,48 ГГц, а це відноситься до радіозв'язку. Відповідно до розрахунків робоча частота датчика становить 50 МГц, що відрізняється від необхідної частоти дистанційного модуля. Отже, у даному випадку модуль Bluetooth HC-05 можна використовувати для бездротової передачі інформації для подальшого діагностування.

Доцільно використовувати покоління Bluetooth 4.0, тому що воно має знижену потужність споживання і може працювати як від мікроконтролера, так і під управлінням контрольованого хоста. Зазвичай покоління 4.0 застосовується для датчиків і домашніх медичних пристроїв. Орієнтовано для користування у системах збору даних та моніторингу, що і являється одною з основних функцій датчика ультразвукової біомікроскопії. Чим вище покоління Bluetooth, тим швидше дані передаються, наприклад, в 3.0-4.0 – до 24 Мб/с.

Для забезпечення роботи Bluetooth було складено скетч у програмі Arduino IDE:

```
int val; // змінна
void setup() {
  Serial.begin(9600); // швидкість передачі інформації
  pinMode(13, OUTPUT); // 13 пін – світлодіод являється виходом
}
void loop() {
  if (Serial.available()) // перевірка, чи подаються які-небудь команди
  {
    val = Serial.read(); // змінна має значення поданої команди (читання значень)
    if (val == '1') {digitalWrite(13, HIGH);} // при 1 включається світлодіод
    if (val == '0') {digitalWrite(13, LOW);} // при 0 виключається світлодіод
  }
}
```

Відповідно до змодельованої електричної схеми датчика ультразвукової біомікроскопії було розроблено його креслення з усіма необхідними складовими (додаток А).

Датчик ультразвукової біомікроскопії за кресленням має такі елементи:

- накінецьник, яким відбувається доторкання до ока пацієнта при огляді;
- п'єзоелемент, що слугує для проведення сканування відповідного відділу ока;
- корпус, у якому знаходяться всі складові частини датчика;
- кнопка вкл/викл;
- акумуляторна батарея, за допомогою якої відбувається живлення і автономний режим роботи;
- кришка;
- плата.

Висновки до розділу 2

Створено електричну схему та проведено розрахунки елемента датчика ультразвукової біомікроскопії. Для забезпечення роботи датчика було обрано елементну базу. Зроблено плату у програмі Fritzing для візуалізації підключення компонентів Bluetooth модуля. Було запрограмовано плату Arduino Uno для забезпечення роботи Bluetooth модуля.

Для забезпечення автономного режиму роботи датчика ультразвукової біомікроскопії було підібрано блок живлення, який має модулі заряду з захистом та перетворювач напруги, але найголовнішим компонентом являється літій-іонний акумулятор з напругою 3,7 В та ємністю 800 мА/год.

Також розроблено найпростіше креслення датчика ультразвукової біомікроскопії у програмі SolidWorks.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИЛАДУ

3.1 Побудова моделі проходження ультразвукової хвилі через структури ока

Акустичний тракт – це шлях ультразвукової хвилі від перетворювача до біологічної тканини. У тракт включаються і власні елементи перетворювача. Також при розрахунку не враховується заломлення ультразвукових хвиль через контактне середовище. Це пов'язане з тим, що контактна рідина вибирається при умові якнайменшого заломлення ультразвуку в ній.

Один з основних параметрів при скануванні є характер акустичного тракту, тобто як буде поводити себе ультразвукова хвиля при проходженні через біологічні тканини. У даному випадку мова йде про дослідження ока людини, тому для розрахунку акустичного тракту вибрано модель, яка складається з 6 основних шарів: рогівка, передня камера, кришталик, скловидне тіло, сітківка, склера.

Еквівалентна модель зображена на рисунку 3.1. Модель не враховувала заломлень ультразвукових хвиль на межі розподілу двох середовищ.

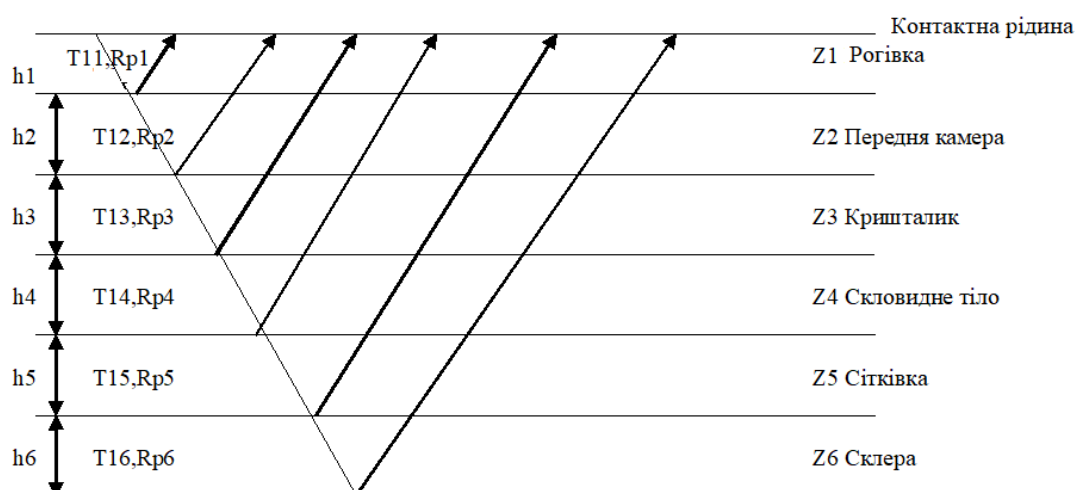


Рисунок 3.1 – Еквівалентна модель акустичного тракту ока людини розроблено у графічному редакторі

На малюнку 3.1: h_i – товщини шарів; z_i – імпеданси шарів; T_{ii} – коефіцієнти проходження по інтенсивності; R_{Pi} – коефіцієнти відбиття по тиску.

3.2 Розрахунок акустичного тракту ока людини

Для розрахунку параметрів ультразвукового перетворювача необхідні дані занесено у таблицю 3.1: швидкість ультразвуку, густини та товщини шарів ока і коефіцієнти загасання.

Таблиця 3.1 – Параметри біологічного середовища для розрахунку ультразвукового перетворювача

Біологічне середовище	Швидкість ультразвуку C , м/с	Густина ρ , $\cdot 10^3$ кг/м ³	Товщина h , $\cdot 10^{-3}$ м	Коефіцієнт загасання α , Нп/м
Рогівка	1640	1,0	0,4	6,912
Передня камера	1610	1,09	3,5	13,825
Кришталік	1645	1,21	4,3	28,802
Скловидне тіло	1580	1,0089	0,74	31,106
Сітківка	1620	1,09	0,29	35,714
Склера	1648	1,1	1,0	39,171

Кут оптимального дослідження ока встановлено приблизно 60°.

Межа контактна рідина-рогівка. Кут падіння на межу: $\theta_1 = 60^\circ$ (заломлення не відбувалося). Тобто: $\theta_{\text{рогівка}} = 60^\circ$.

Кут заломлення на межі визначено за формулою (за законом Снеліуса):

$$\frac{C_n}{C_m} = \frac{\sin\theta_n}{\sin\theta_m} \quad (3.1)$$

де C_n – швидкість проходження ультразвуку n середовища;

C_m – швидкість проходження ультразвуку m прошарку;

θ_n і θ_m – кути відхилення ультразвуку від уявної осі перетворювача до заломлення (n) і після заломлення (m).

Підставляючи необхідні біологічні середовища у формулу 3.1, розраховано кути заломлення.

Межа рогівка-передня камера. Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{рогівка}} = \theta_1 = 60^\circ$.

$$\theta_{\text{п.кам.}} = \arcsin\left(\frac{c_{\text{п.кам.}}}{c_{\text{рогівка}}} \cdot \sin\theta_{\text{рогівка}}\right) = \arcsin\left(\frac{1610}{1640} \cdot \sin 60\right) \approx 58,2^\circ.$$

$$\theta_2 = 58,2^\circ.$$

Межа передня камера-кришталік.

$$\theta_{\text{криштал.}} = \arcsin\left(\frac{1645}{1610} \cdot \sin 58,2\right) \approx 60,27^\circ. \theta_3 = 60,27^\circ.$$

$$\text{Межа кришталік-скловидне тіло. } \theta_{\text{скл.т.}} = \arcsin\left(\frac{1580}{1645} \cdot \sin 60,27\right) \approx 56,52^\circ. \theta_4 = 56,52^\circ.$$

$$\text{Межа скловидне тіло-сітківка. } \theta_{\text{сітківка}} = \arcsin\left(\frac{1620}{1580} \cdot \sin 56,52\right) \approx 58,78^\circ. \theta_5 = 58,78^\circ.$$

$$\text{Межа сітківка-склера. } \theta_{\text{склера}} = \arcsin\left(\frac{1648}{1620} \cdot \sin 58,78\right) \approx 60,45^\circ. \theta_6 = 60,45^\circ.$$

Акустичні опори (імпеданси) розраховано за формулою:

$$Z = \rho \cdot C, \quad (3.2)$$

де ρ – густина, кг/м^3 (табл. 3.1);

C – швидкість ультразвуку, м/с.

Підставивши значення у формулу 3.2, отримано акустичні опори.

$$Z_{\text{води}} = Z_0 = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 1,48 \cdot 10^3 = 1,48 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{рогівка}} = Z_1 = 1,64 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{скл.т.}} = Z_4 = 1,594 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{п.кам.}} = Z_2 = 1,755 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{сітківка}} = Z_5 = 1,766 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{кришталік}} = Z_3 = 1,99 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right);$$

$$Z_{\text{склера}} = Z_6 = 1,813 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right).$$

Для знаходження коефіцієнту проходження по інтенсивності T_{1i} було використано формули:

$$T_{1i} = \frac{4 \cdot Z_i \cdot Z_j}{(Z_i + Z_j)^2} \text{ або} \quad (3.3)$$

$$T_{1i} = \frac{4 \cdot Z_i \cdot Z_j \cdot \cos \theta_i \cdot \cos \theta_j}{(Z_i \cdot \cos \theta_j + Z_j \cdot \cos \theta_i)^2}, \quad (3.4)$$

де $Z_{i,j}$ – акустичні імпеданси шарів біологічного середовища;

$\theta_{i,j}$ – кути заломлення на межі двох середовищ;

i, j – номер відповідного шару, при цьому $j = i + 1$.

Використання формули 3.3 або 3.4 залежало від проходженого типу середовища (зовнішнє-внутрішнє або внутрішнє-внутрішнє).

Для межі контактна рідина-рогівка було використано формулу 3.3.

$$T_{11} = \frac{4 \cdot Z_0 \cdot Z_1}{(Z_0 + Z_1)^2} = \frac{4 \cdot 1,48 \cdot 10^6 \cdot 1,64 \cdot 10^6}{(1,48 \cdot 10^6 + 1,64 \cdot 10^6)^2} = 0,997.$$

Для всіх інших меж було використано формулу 3.4.

$$T_{\text{рог_пк}} = T_{12} = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{(Z_1 \cdot \cos \theta_2 + Z_2 \cdot \cos \theta_1)^2} = \frac{4 \cdot 1,64 \cdot 10^6 \cdot 1,755 \cdot 10^6 \cdot \cos 60 \cdot \cos 58,2}{(1,64 \cdot 10^6 \cdot \cos 58,2 + 1,755 \cdot 10^6 \cdot \cos 60)^2} = 0,999;$$

$$T_{\text{пк_кришт}} = T_{13} = 0,991;$$

$$T_{\text{склт_сітк}} = T_{15} = 0,993;$$

$$T_{\text{кришт_склт}} = T_{14} = 0,972;$$

$$T_{\text{сітк_склера}} = T_{16} = 0,998.$$

Коефіцієнт відбиття по тиску Rp_i від межі поділу середовищ:

$$Rp_i = \left| \frac{Z_j - Z_i}{Z_j + Z_i} \right|. \quad (3.5)$$

$$Rp_1 = 0,051;$$

$$Rp_2 = 0,034;$$

$$Rp_3 = 0,063;$$

$$Rp_4 = 0,111;$$

$$Rp_5 = 0,051;$$

$$Rp_6 = 0,013.$$

Визначено довжини хвиль для кожного шару за формулою:

$$\lambda_i = \frac{C_i}{f}, \quad (3.6)$$

де C_i – швидкість ультразвуку в i -тому середовищі;

f – робоча частота.

$$\lambda_{\text{роговка}} = \frac{1640}{50 \cdot 10^6} = 32,8 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{\text{пкам}} = 32,2 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{\text{кришт}} = 32,9 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{\text{склт}} = 31,6 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{\text{сітківка}} = 32,4 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\lambda_{\text{склера}} = 32,96 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

$$\text{Тоді: } \lambda_{\text{сер}} = \frac{(32,8+32,2+32,9+31,6+32,4+32,96) \cdot 10^{-6}}{6} = 32,48 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Формула для знаходження товщини шарів, через які проходить ультразвук:

$$h_i = \frac{h'_i}{\cos \theta_i}, \quad (3.7)$$

де h'_i – товщина i -того шару (табл. 3.1);

θ_i – кут, під яким падає ультразвук в i -тому шарі.

$$h_1 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$h_4 = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$h_2 = 6,64 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$h_5 = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$h_3 = 8,67 \cdot 10^{-3} \text{ (м)};$$

$$h_6 = 2,03 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Загальна товщина для діагностики:

$$h_{\text{сум}} = (0,8 + 6,64 + 8,67 + 1,33 + 0,56 + 2,03) \cdot 10^{-3} = 20,03 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Розрахунок коефіцієнта послаблення акустичного тракту для кожного середовища ока людини було здійснено за різними формулами.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Площа відбивача S потрібна у всіх формулах, вона становила $2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$.

Для рогівки K_{AT1} :

$$K_{AT1} = \frac{S \cdot T_{11} \cdot Rp_1}{h_1 \cdot \lambda_1} \cdot e^{-2 \cdot h_1 \cdot \alpha_1} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,997 \cdot 0,051}{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 32,8 \cdot 10^{-6}} \cdot e^{-2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 6,912} = 0,383.$$

Для передньої камери K_{AT2} :

$$K_{AT2} = \frac{S \cdot T_{11} \cdot T_{12} \cdot Rp_2}{(h_1 + h_2) \cdot \lambda_2} \cdot e^{-2 \cdot (h_1 \cdot \alpha_1 + h_2 \cdot \alpha_2)} = 2,3 \cdot 10^{-2}.$$

Для кришталіка K_{AT3} :

$$K_{AT3} = \frac{S \cdot T_{11} \cdot T_{12} \cdot T_{13} \cdot Rp_3}{(h_1 + h_2 + h_3) \cdot \lambda_3} \cdot e^{-2 \cdot (h_1 \cdot \alpha_1 + h_2 \cdot \alpha_2 + h_3 \cdot \alpha_3)} = 1,172 \cdot 10^{-2}.$$

Для скловидного тіла K_{AT4} :

$$K_{AT4} = 1,777 \cdot 10^{-2}.$$

Для сітківки K_{AT5} :

$$K_{AT5} = 7,362 \cdot 10^{-3}.$$

Для склери K_{AT6} :

$$K_{AT6} = 1,411 \cdot 10^{-3}.$$

Залежність коефіцієнту послаблення акустичного тракту від товщини проникнення у біологічні середовища ока зображено на рис. 3.2.

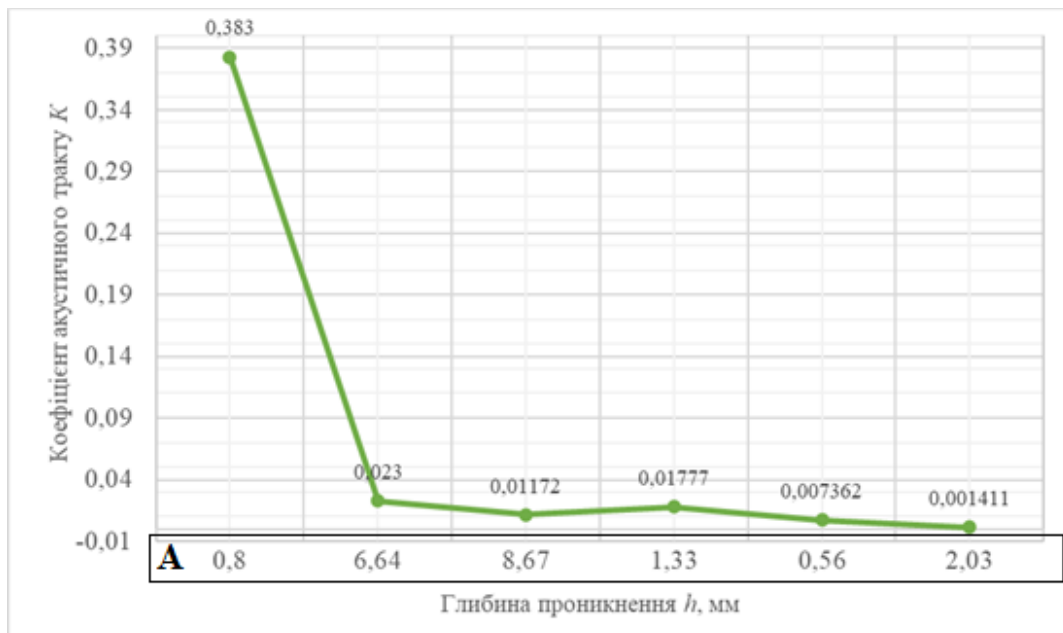


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнту загасання акустичного тракту від глибини проникнення розроблено у графічному редакторі

Обведена частина графіку А по осі глибини проникнення позначено не у порядку зростання величини через те, що середовища, через які проходить ультразвук, мають різну товщину. Тому, на осі x зазначено товщини за порядком проходження ультразвуку через ці середовища ока. Але з кожним пройденим середовищем їх товщини збільшуються, тобто до попереднього накладаються наступні пройдені середовища. Отже, значення осі x позначає товщину відповідного біологічного середовища.

Аналізуючи поданий графік, можна сказати про те, що найбільше загасання акустичного тракту відбувалося у середовищі рогівки, а найменше – у склері. Тобто коефіцієнт загасання акустичного тракту, проходячи через кожні наступні шари ока, зменшувався.

Коефіцієнт акустичного тракту впливає на потужність датчика ультразвукової біомікроскопії. За обрахунками можна побачити, що, проникаючи у глибше середовище ока, спостерігається зменшення і наближення коефіцієнта до нуля. Це показує про те, що обрана вихідна потужність датчика являється достатньо підбіраною для проведення дослідження передньої частини людського ока.

Висновки до розділу 3

Розраховано складову частину датчика ультразвукової біомікроскопії з урахуванням коефіцієнту послаблення акустичного тракту, який залежить від товщини (глибини) проникнення ультразвукової хвилі через біологічні середовища ока людини. Зображено залежність коефіцієнта загасання акустичного тракту.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Характеристика датчика для ультразвукової біомікроскопії

4.1.1 Характеристика компонентів приладу

Датчик біомікроскопії складено з електричної схеми, яка у своєму складі має дві основні частини – передавач та приймач, а також дистанційного модуля Bluetooth HC-05 на основі мікроконтролера Arduino Uno. Забезпечення автономного режиму УБМ датчика здійснено за допомогою літій-іонного акумулятора, модуля зарядки із захистом TP4056 і перетворювача напруги MT3608. Технічні характеристики складових УБМ датчика наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики компонентів датчика біомікроскопії

Найменування компонентів	Основні характеристики	К-сть	Позиція на рисунку
Мікроконтролер Arduino Uno R3 ATmega328	клас виробу за способом захисту – I; клас виробу за ступенем захисту – IP 30; споживча потужність – до 2,4 Вт; напруга живлення – 7-12 В; робоча напруга – 3,3 В, 5 В; максимальний струм виводу – 40 мА;	1	3
Модуль Bluetooth HC-05	клас виробу за способом захисту – I; клас виробу за ступенем захисту – IP 30; потужність передачі – 0,25-2,5 мВт; робоча частота – 2,4-2,8 ГГц; напруга живлення – 3,3-5 В; струм споживання – 50 мА; робоча температура – -25...+75°C	1	4
Літій-іонний акумулятор	напруга на виході – 3,7 В; ємність – 800 мА/год; максимальний струм розрядження – 5 А; робоча температура – -20...+60°C	1	6
Модуль зарядки TP4056	струм зарядки – до 1 А (налаштовується); вхідна напруга – 4,5-5,5 В; робоча температура – -10...+85°C	1	7
Перетворювач напруги MT3608	максимальний вихідний струм – 2 А; номінальний струм – 1 А; струм споживання – 100 мА; робоча частота – 1,2 МГц; вхідна напруга – 2-24 В; максимальна вихідна напруга – 28 В;	1	8

Класи виробів, що було використано, за способом і ступенем захисту було зазначено згідно з ДСТУ EN 61140:2019 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання» і ДСТУ EN 60529:2018 «Ступені захисту, забезпечувані кожухами». Оскільки датчик ультразвукової біомікроскопії використовується у звичайному кабінеті офтальмології, тоді відповідно спеціальні умови такі, як освітлення, вологість повітря, тиск і температура, до експлуатації датчика ультразвукової біомікроскопії не потрібні. Лише ті вимоги, що висуваються до кабінету офтальмології.

4.1.2 Складові частини приладу

Схема з'єднання основних частин датчика ультразвукової біомікроскопії показано на рисунку 4.1.

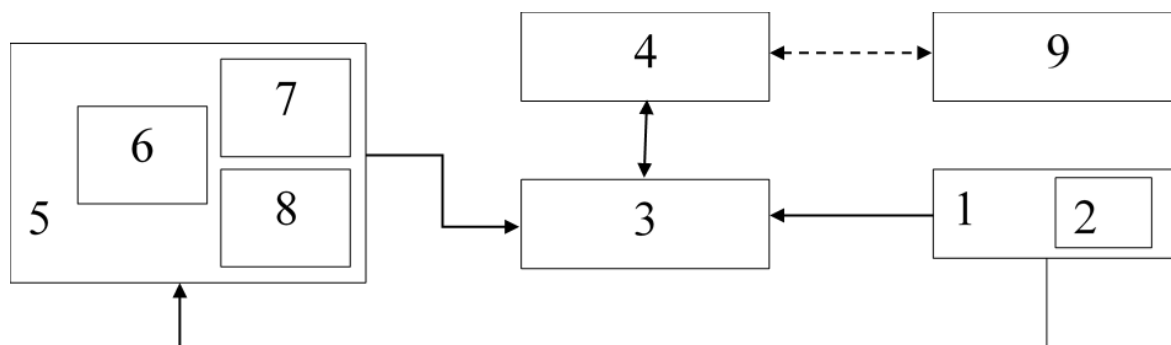


Рисунок 4.1 – Функціональна схема з'єднання основних складових частин датчика ультразвукової біомікроскопії розроблено у графічному середовищі

На рисунку 4.1 електричні зв'язки датчика біомікроскопії позначено суцільно, а безпроводна передача інформації відповідно штриховою лінією. Щодо складових частин схеми датчика біомікроскопії: 1 – корпус датчика з його електричною схемою 2, 3 – мікроконтролер Arduino Uno R3 ATmega328, 4 – дистанційний модуль Bluetooth HC-05, 5 – блок живлення датчика ультразвукової біомікроскопії, що складається з літій-іонного акумулятора 6, модуля зарядки TP4056 із захистом 7 і перетворювача напруги MT3608 8, 9 – пристрій зчитування даних, що подаються з датчика ультразвукової біомікроскопії.

4.1.3 Характер взаємодії приладу у системі «людина-об'єкт»

Засоби, що необхідні для забезпечення отримання інформації про стан роботи датчика ультразвукової біомікроскопії, наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія датчика в системі «людина-об'єкт»

Найменування компонентів	Вид відображення інформації	К-ть
Мікроконтролер Arduino Uno R3 ATmega328	сповіщувач про підключене живлення – світлодіод	1
Модуль Bluetooth HC-05	сповіщувач про підключення живлення – світлодіод	1
Модуль зарядки TP4056	індикатор, що показує про зарядку акумулятора – червоний світлодіод; індикатор повного заряджання акумулятора – зелений світлодіод	2

4.2 Оцінка потенційних небезпек, що створюються датчиком ультразвукової біомікроскопії, та заходи їх усунення

Для безпечного користування датчиком УБМ потрібно дотримуватись вимог безпеки, які виявляються у результаті використання ультразвукового випромінювання й ураження електричним струмом.

4.2.1 Небезпека ультразвукового випромінювання

При проведенні дослідження за допомогою УБМ датчика можна не тільки продіагностувати, але отримати пошкодження ока при подачі вищої потужності на вихід УБМ датчика. Оцінка, аналіз джерел, причин і наслідків небезпек УЗ опромінення датчика УБМ наведено у таблиці 4.3.

Порівняння параметрів небезпек з реальними і нормативними значеннями показано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Оцінка небезпек ультразвукового випромінювання датчика

Найменування компонентів	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
Головка УБМ датчика	ультразвукова хвиля на виході головки УБМ датчика, якою здійснюється огляд	збій налаштування номіналів компонентів, що входять до електричної схеми УБМ датчика (коротке замикання, пошкодження захисного шару для доступу до схеми)	пошкодження структур передньої частини ока пацієнта

Таблиця 4.4 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
Потужність опромінення	50 МГц	1-10 МГц

Нормативне значення було обрано відповідно до ДСН 3.3.6.037-99.

Заходи безпеки охорони праці наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Заходи та засоби захисту

Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
Технічні заходи	забезпечення задання необхідних значень компонентів електричної схеми УБМ датчика	отримання на виході робочої потужності (частоти) роботи УБМ датчика
Організаційні заходи	інструктаж для роботи з УБМ датчиком	ознайомлення з технікою безпеки та користуванням УБМ датчиком
Експлуатаційні заходи	перевірка справної роботи складових частин УБМ датчика, відсутність механічних пошкоджень	попередній вияв дефектів УБМ датчика, які призведуть до зменшення чи збільшення потужності

4.2.2 Небезпека ураження людини електричним струмом

Інформація про джерела небезпеки та заходи захисту, що відносяться до ураження електричним струмом, показано у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Оцінка небезпек електричного характеру

Найменування компонентів	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
Мікроконтролер Arduino Uno R3 ATmega328	постійний струм	пошкодження кабелю плати	враження електричним струмом
		неправильне приєднання компонентів УБМ датчика	опік шкіри працівника доріжки плати пошкоджено, роботу модуля порушено

Продовження таблиці 4.6

Найменування компонентів	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
Літій-іонний акумулятор	підвищення напруги	блок живлення датчика УБМ працює неправильно	нагрів та ушкодження плати
			опік шкіри працівника
пошкодження структур переднього відділу ока			
	пошкодження оболонки захисту та витік електроліту	контакт з водою, механічна деформація	враження електричним струмом

Порівняння параметрів небезпек з реальними і нормативними значеннями показано у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Реальні та нормативні фактори електробезпеки

Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
Постійний струм	40 мА	10 мА
Підвищення напруги	> 20 В	оптимально – 7-2 В; допустимо – 6-20 В
Пошкодження оболонки захисту акумулятора та витік електроліту	можливо	відсутній

Струм нормативного значення, допустимий для людини, визначено відповідно до ДСТУ EN 61140:2019 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання». Значення підвищення напруги для плати Arduino Uno R3 ATmega328 визначено за його технічними характеристиками.

Для забезпечення виникнення загроз життю пацієнта і працівника у таблиці 4.8 наведено основні заходи з охорони праці.

Таблиця 4.8 – Заходи для забезпечення охорони праці з питань ураження електричним струмом

Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
Технічні засоби	забезпечення проти потраплянь води до акумулятора	захист від потрапляння води до акумулятора й ураження електричним струмом

Продовження таблиці 4.8

Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
Технічні засоби	ізоляція провідників струму мікроконтролера за допомогою матеріалу, що не проводить струм	запобігти контакт з струмопровідними елементами датчика УБМ
	забезпечення відповідних номіналів елементів схеми УБМ датчика	не можливість виходу з ладу компонентів електричної схеми УБМ датчика, захист від пошкоджень ока людини
	маркування провідників мікроконтролеру Arduino Uno R3 відповідно до приєднання компонентів	запобігти помилки при приєднанні модулів та УБМ датчика до плати Arduino Uno R3
	окремий слот для акумулятора	захист від ушкоджень акумулятора та витoku електроліту з нього
Організаційні заходи	інструкція по користуванню, навчання працівників	перевірка знань та удосконалення або навчання працівників експлуатації УБМ датчика
Режимні засоби	після закінчення роботи перевірка несправностей елементів УБМ датчика	уникнення контакту з компонентами УБМ датчика, які знаходяться під напругою
Експлуатаційні заходи	перевірка цілісності блока живлення датчика УБМ і його технічний огляд	забезпечення безпечного користування згідно з інструкцією до датчика УБМ

4.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації УБМ датчика»

Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- використання датчика біомікроскопії може відбуватися лише після ознайомлення з правилами техніки безпеки та інструкцією його експлуатації;
- налаштування, приєднання та перевірка справної роботи датчика ультразвукової біомікроскопії повинна відбуватися лише спеціально навченим спеціалістом: медичним інженером або інженером по техніці.

Технологічні вимоги щодо дотримання заходів безпеки перед початком роботи, під час роботи і після закінчення роботи та в умовах надзвичайних ситуацій:

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

- перед початком роботи з УБМ датчиком необхідно перевірити всі підключення та його складові елементи на відсутність яких-небудь пошкоджень;
- якщо під час роботи датчика біомікроскопії на блоку живлення горить зелений колір світлодіода, тоді акумулятор датчика біомікроскопії є зарядженим;
- у випадку загорання червоного кольору світлодіоду блоку живлення датчика УБМ, відповідно тоді відбувається заряджання акумулятора УБМ датчика;
- якщо під час роботи УБМ датчика не горять світлодіоди, тоді потрібно перевірити живлення складових і справність датчика УБМ;
- при вияві порушень роботи УБМ датчика необхідно звернутися до спеціаліста з технічного обслуговування;
- після завершення роботи з УБМ датчиком потрібно вимкнути пристрій і забезпечити безпечне місце розташування.

Особливості обслуговування УБМ датчика і безпечні прийоми роботи:

- у випадку виявлення неправильної роботи УБМ датчика необхідно у будь-якому разі проводити ремонт пристрою;
- при обслуговуванні та подальшому використанні УБМ датчика потрібно дотримуватися усіх правил техніки безпеки, що зазначені у даному розділі [45].

Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто небезпечні фактори, що створюються конструкцією УБМ датчика, та шляхи їх уникнення. Небезпеками являється ультразвукове опромінення та електричний струм. Було розроблено технічні, організаційні, режимні та експлуатаційні заходи, що призводять до підвищення безпеки УБМ датчика. Створено інструкцію з техніки безпеки при користуванні УБМ датчика.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу літературних джерел було показано методику проведення огляду за допомогою ультразвукової біомікроскопії, а також зроблено порівняння існуючих методів офтальмоскопічних досліджень з ультразвуковою біомікроскопією. Визначено їх переваги.

Після ознайомлення з сучасними приладами для ультразвукової біомікроскопії було обрано основні складові компоненти для електричної схеми датчика такі, як передавач та приймач ультразвукових коливань. Доведено необхідність зменшення габаритів та підвищення функціональності пристрою.

Створено електричну схему із розрахунком частоти, яка становить 50 МГц. Для забезпечення роботи датчика було обрано конденсатори 0402YC103KAT2A, резистори 10WAT1K, таймер 555, транзистор 2N2222 й операційні підсилювачі LM324, а також дистанційний модуль Bluetooth HC-05, що підключається до мікроконтролера Arduino Uno R3 ATmega328.

Було розроблено плату у програмі Fritzing для зображення підключення компонентів Bluetooth модуля. Було запрограмовано плату Arduino Uno для забезпечення роботи Bluetooth модуля. У випадку застосування дистанційного модуля передачі інформації існує проблема, яка полягає у втраті більшої частини корисного сигналу. Для її вирішення можливо скористатися передачею не прямого сигналу, який отримує датчик, а огибаючого. Або ж створити буфер накопичення, де сигнал буде збиратися і передаватися із затримкою.

Для забезпечення автономного режиму роботи датчика ультразвукової біомікроскопії було підібрано блок живлення, який має модулі заряду з захистом TP4056 та перетворювач напруги MT3608, але найголовнішим компонентом являється літій-іонний акумулятор з напругою 3,7 В та ємністю 800 мА/год. Відповідно до обраних складових було показано приєднання трьох елементів блоку живлення між собою у графічному середовищі.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

Виходячи з електричної схеми, доданого портативного модулю та розробленого блоку живлення датчика ультразвукової біомікроскопії, було створено креслення у програмі SolidWorks, яке має 7 основних складових компонентів: накінецьник, п'єзоелемент, корпус, кнопка включення/виключення, місце для акумуляторної батареї, кришка і плата.

Проведено розрахунки коефіцієнта послаблення акустичного тракту ока людини датчика ультразвукової біомікроскопії як головного параметра ультразвукового перетворювача. Для цього було використано параметри біологічних середовищ: швидкість та коефіцієнт загасання ультразвуку, густина і товщина шарів. Для роگیвки $K_{AT1} = 0,383$, передньої камери $K_{AT2} = 2,3 \cdot 10^{-2}$, кришталіка $K_{AT3} = 1,172 \cdot 10^{-2}$, скловидного тіла $K_{AT4} = 1,777 \cdot 10^{-2}$, сітківки $K_{AT5} = 7,362 \cdot 10^{-3}$ і склери $K_{AT6} = 1,411 \cdot 10^{-3}$. За обрахунками коефіцієнта акустичного тракту можна сказати про те, що потужність для датчика було обрано вірно.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Применение ультразвука в медицине: Физические основы: Пер. с англ. / Под ред. К. Хилла. – М.: Мир, 1989. – 568 с.
2. Методы ультразвукового исследования в офтальмологии: метод. рекомендации / С.И. Жукова [и др.]. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2015. – 32 с.
3. Круглова Т.Б., Катаргина Л.А., Егиян Н.С., Мазанова Е.В., Демченко Е.Н., Кононов Л.Б. Роль ультразвуковой биомикроскопии в оценке состояния переднего отрезка глаза и результатов хирургического лечения детей с врожденными катарактами. Российский офтальмологический журнал. 2011; 4: 34–7.
4. Винник Н. А. Ультразвуковая биомикроскопия в диагностике патологии крайней периферии глазного дна : дис. канд. мед. наук : 14.01.07 - глаз / Винник Наталья Анатольевна – Москва, 2014 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://eyepress.ru/sbornik.aspx?200>.
5. Биомикроскопия глаза [Электронный ресурс] // МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ОХРАНЫ ЗРЕНИЯ ЦЕНТР ГЛАЗНОЙ ХИРУРГИИ – Режим доступа до ресурсу: <https://lasik.ru/services/diagnostika/biomikrockopia/>.
6. Тахчиди Х.П., Егорова Э.В., Узунян Д.Г. Ультразвуковая биомикроскопия в диагностике патологии переднего сегмента глаза. М.: Издательский центр “Микрохирургия глаза”, 2007: 3–125.
7. Аветисов С. Э. Возможности ультразвуковой биомикроскопии при эндотелиальном иридокорнеальном синдроме [Электронный ресурс] / С. Э. Аветисов, А. Р. Амбарцумян // Апрель – Режим доступа до ресурсу: <http://aprilpublish.ru/lekciiji/avetisov-s-e-ambarcumyan-a-r-vozmozhnosti-ultrazvukovoj-biomikroskopii-pri-endotelialnom-iridokornealnom-sindrome.html>.
8. Bhatt DC. Ultrasound biomicroscopy: An overview. J Clin Ophthalmol Res 2014;2:115-23. DOI: 10.4103/2320-3897.130549.
9. Луговкина К. В. Возможности ультразвуковой биомикроскопии и оптической когерентной томографии в диагностике осколочной травмы переднего отрезка глаза / К. В. Луговкина. // Медицинская визуализация. – 2016. – №3. – С. 9–16.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

10. Использование ультразвуковой биомикроскопии при различных стадиях ретинопатии недоношенных / А. В.Терещенко, Ю. А. Белый, Е. В. Ерохина, И. Г. Трифаненкова. // Офтальмохирургия. – 2015. – №4. – С. 30–35.

11. Страхов В.В., Алексеев В.В., Аль-Мррани А.М., и др. Информативность биометрических показателей радужки, склеры и роговицы в диагностике первичной открытоугольной глаукомы // Офтальмологические ведомости. – 2018. – Т. 11. – № 1. – С. 34–40. DOI: 10.17816/OV11134-40.

12. An FPGA-Based Open Platform for Ultrasound Biomicroscopy / Weibao Qiu, Yanyan Yu, Fu Keung Tsang, Lei Sun. // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. – 2012. – №7. – С. 1432–1442. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TUFFC.2012.2344>.

13. Kumar RS, Sudhakaran S, and Aung T. Imaging. From Pearls of Glaucoma Management. 2016.

14. Алексеев И.Б., Страхов В.В., Мельникова Н.В., Попова А.А., Изменения фиброзной оболочки глаза у пациентов с впервые выявленной первичной открытоугольной глаукомой // Национальный журнал глаукома. – 2016. – Т. 15. – № 1. – С. 13-23.

15. Pavlin CJ, Harasiewicz K, Sherar MD, et al. Clinical use of ultrasound biomicroscopy. Ophthalmology. 1991;98:287–95.

16. MALIGNANT GLAUCOMA 365.20 (Ciliary Block Glaucoma, Aqueous Misdirection, Ciliolenticular/Ciliovitreous Block) Hau T. Nguyen MD, George A. Cioffi MD [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/ultrasound-biomicroscopy>.

17. Tello C, Potash S, Liebmann J, et al. Soft contact lens modification of the ocular cup for high-resolution ultrasound biomicroscopy. Ophthalmic Surg. 1993;24:563–4.

18. Щуко А.Г., Малышева В.В. Оптическая когерентная томография в диагностике глазных болезней. М.: ГЕОТАР-МЕДИА, 2010: 7–22.

19. Биомикроскопия [Электронный ресурс] // Британский офтальмологический центр – Режим доступа до ресурсу: <https://eyes.ua/vse-o-katarakte/diagnostika-katarakty/biomikroskopiya/>.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

20. Ultrasound Biomicroscopy (UBM) [Электронный ресурс] // Coastwide eye surgery – Режим доступа до ресурсу: <https://www.coastwideeyesurgery.com.au/ultrasound-biomicroscopy-ubm/>.

21. Ультразвуковая биомикроскопия [Электронный ресурс] // КФ ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России.. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://okocentr.ru/patients/encyclopedia/ultrazvukovaya-biomikroskopiya/>.

22. Анатомия УЗИ датчика [Электронный ресурс] // ТОО "Интермедика-НС". – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://intermedica-ns.kz/anatomiya-uzi-datchika/>.

23. Принцип работы УЗ аппаратов? [Электронный ресурс] // ООО “ОРОС Групп” – Режим доступа до ресурсу: <https://www.orosmedical.ru/articles/printsip-raboty-uz-apparatov/>.

24. А/В сканер Aviso [Электронный ресурс] // Optidea – Режим доступа до ресурсу: https://optidea.com.ua/equipment/ultrasound/a-b_scanner_aviso/#8b2d2e6d-6c31-10.

25. А/В сканер AVISO Quantel Medical [Электронный ресурс] // «Диоптрия» – Офтальмологическое оборудование – Режим доступа до ресурсу: <https://dioptria555.ru/product/a-v-skaner-aviso-quantel-medical/>.

26. Ультразвуковой сканер с UBM-датчиком SW-3200 [Электронный ресурс] // Panfundus - магазин для офтальмолога – Режим доступа до ресурсу: <http://www.panfundus.ru/a-b-scan/SW-3200.html>.

27. Ультразвуковой офтальмологический В-сканер UD-8000 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://intelmed.ru/product/b-skaner-ud-8000/>.

28. Ультразвуковой UBM-сканер Plus Accutome by Keeler 2 UBM Plus [Электронный ресурс] // Stormoff – Режим доступа до ресурсу: <https://stormoff.ru/products/ubm/>.

29. 4SIGHT [Электронный ресурс] // Stormoff. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://stormoff.ru/products/4SIGHT/>.

30. Ультразвуковой UBM-сканер Plus Accutome by Keeler 2 UBM Plus [Электронный ресурс] // Stormoff – Режим доступа до ресурсу: <https://stormoff.ru/products/ubm/>.

					БМ71.14.2705.1361.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

31. Щелевая лампа (ЩЛ-56) [Электронный ресурс] // SciCenter.online – Режим доступа до ресурсу: <https://scicenter.online/oftalmologiya-scicenter/schelevaya-lampa-schl-142403.html>.

32. Щелевая лампа устройство и работа сервисное руководство и паспорта Техник радиолюбителям о медицинской техники и не только <http://www.texnic.ru/medtex/medtex043.htm> с texnic.ru [Электронный ресурс] // Техnic.ru – Режим доступа до ресурсу: <http://www.texnic.ru/medtex/medtex043.htm>.

33. Офтальмометрия [Электронный ресурс] // МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ОХРАНЫ ЗРЕНИЯ ЦЕНТР ГЛАЗНОЙ ХИРУРГИИ – Режим доступа до ресурсу: <https://lasik.ru/services/diagnostika/oftalmometriya/>.

34. Кератометрия [Электронный ресурс] // Institut de la Macula. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.institutmacula.com/ru/procedimiento/queratometria/>.

35. Что такое компьютерная кератометрия — как расшифровать и нормы офтальмометрии [Электронный ресурс] // Медицинский советник – Режим доступа до ресурсу: <https://www.hospital-mmk.ru/zrenie/chto-takoe-kompyuternaya-keratometriya-kak-rasshifrovat-i-normy-oftalmometrii.html>.

36. Тонометрия глаза [Электронный ресурс] // Глазной центр Оскар – Режим доступа до ресурсу: <https://glazoskar.ru/patient/diagnostika/tonometriya-glaza/>.

37. Тонометрия глаза [Электронный ресурс] // Клиника Санта. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://santa-med.ru/diagnostika/tonometriya/>.

38. Акустичні медичні прилади: Метод. вказівки до викон. курсового проекту та розрахунково-графічної роботи для студ. напряму підготовки 6.051003-«Приладобудування» програми професійного спрямування «Медичні прилади і системи» / Уклад.: М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко - К.: НТУУ «КПІ», 2021.- 175 с.

39. Устройство ультразвукового датчика [Электронный ресурс] // ERSPlus – Режим доступа до ресурсу: <https://ersplus.ru/stati/uzi/ustrojstvo-datchika>.

40. Donald F. Ultrasonic receiver circuit using Opamp LM324 [Электронный ресурс] / Frank Donald // Gadgetronicx. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gadgetronicx.com/ultrasonic-receiver-circuit/>.

41. TP4056 Модуль зарядки с защитой (1A) 18650 Micro USB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://needful.co.ua/tp4056-modul-zaryadki-s-zashitoj-1a-18650>.

42. Модуль MT3608 живлення підвищуючий перетворювач [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://blackchip.com.ua/dzherela-zhivlennya/modul-mt3608-zhivlennya/>.

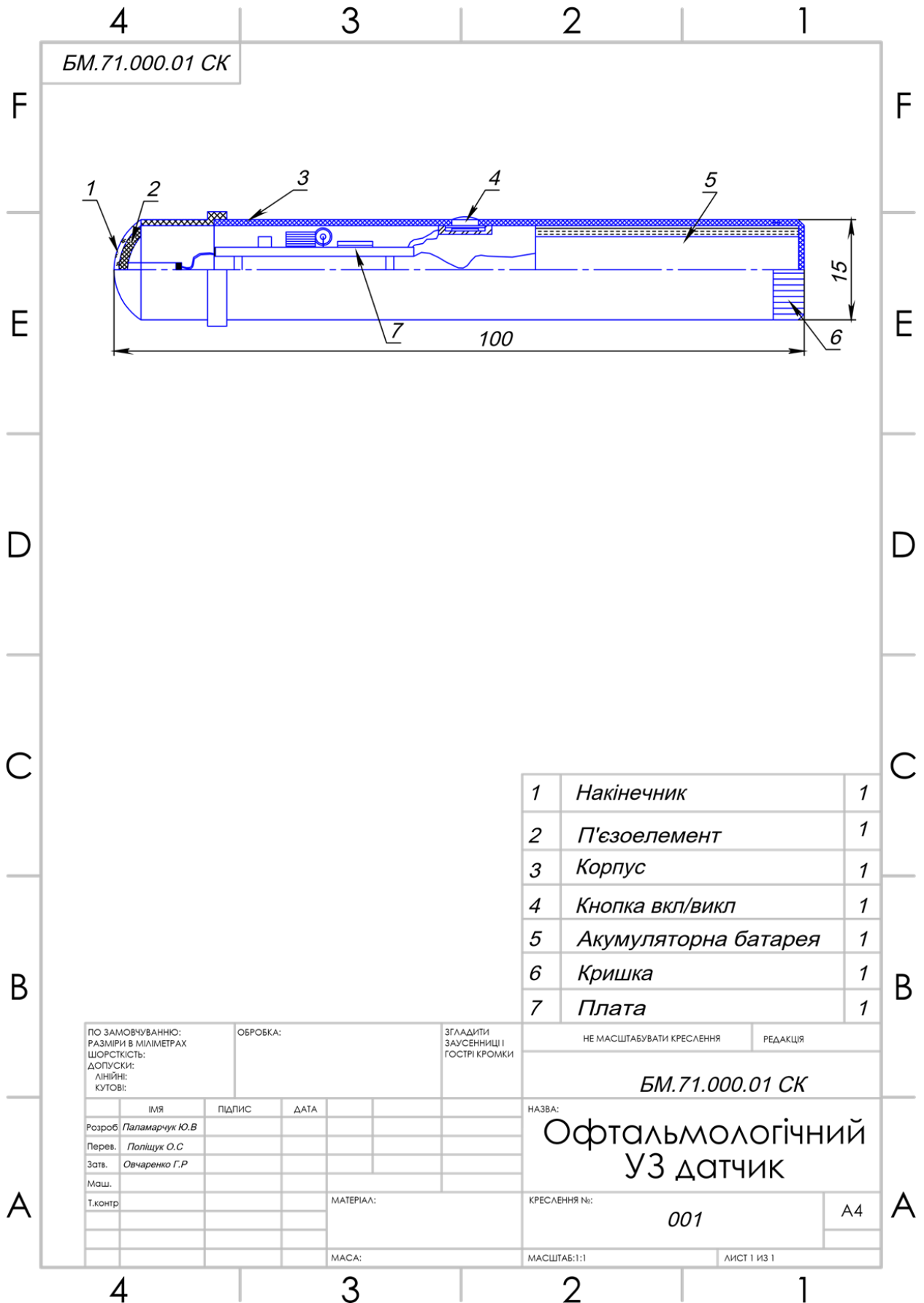
43. Step-Up Converter. MT3608 Datasheet [Електронний ресурс] // AEROSEMI – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheetspdf.com/pdf/909246/AEROSEMI/MT3608/1>.

44. Повышающий DC преобразователь MT3608 или переделываем питание РУ игрушек на литий [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://mysku.ru/blog/aliexpress/38491.html>.

45. Охрана праці в дипломних проектах (роботах): Настанови до виконання розділу [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 Метрологія та інформаційно – вимірювальна техніка, 163 Біомедична інженерія, 172 Телекомунікації та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.Ф. Каштанов, Г.В. Демчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 160,9 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, - 29 с.

Додаток А

Креслення датчика ультразвукової біомікроскопії у середовищі SolidWorks



1	Накінецьник	1
2	П'єзоелемент	1
3	Корпус	1
4	Кнопка вкл/викл	1
5	Акумуляторна батарея	1
6	Кришка	1
7	Плата	1

ПО ЗАМОВЧУВАННЮ: РАЗМІРИ В МІЛІМЕТРАХ ЩОРСТКІСТЬ: ДОПУСКИ: ЛІНІЙНІ: КУТОВІ:		ОБРОБКА:	ЗГЛАДИТИ ЗАУСЕННИЦІ І ГОСТРІ КРОМКИ	НЕ МАСШТАБУВАТИ КРЕСЛЕННЯ	РЕДАКЦІЯ
				БМ.71.000.01 СК	
Розроб	ІМЯ	ПІДПИС	ДАТА	НАЗВА:	
Перев.	Поліщук О.С			Офтальмологічний УЗ датчик	
Затв.	Овчаренко Г.Р				
Маш.				КРЕСЛЕННЯ №:	
Т.контр				001	A4
			МАТЕРІАЛ:	МАСШТАБ: 1:1	ЛИСТ 1 ИЗ 1
			МАСА:		

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

БМ71.14.2705.1361.ПЗ