

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоінженерії**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ЛІТВІНЦЕВ

« 14 » 06 \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньою програмою**

**«Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»**

**спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РІ-11

Потапенко Владислав Вячеславович

13.06.2025р.

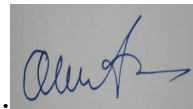


Керівник:

Професор, д.т.н.

Шарпан Олег Борисович

14.06.2025р.



Рецензент:

Старший викл. каф РЕ

Головня Вікторія Мілентіївна

\_\_\_\_\_

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

Студент



Київ – 2025 року

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

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоінженерії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ЛІТВИНЦЕВ

« 14 » 04 \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студента**

**Потапенка Владислава Вячеславовича**

1. Тема проєкту «Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid», керівник проєкту професор кафедри радіоінженерії, професор, д.т.н. Шарпан Олег Борисович, затверджені наказом по університету від «29» травня 2025р. №1840-с

2. Термін подання студентом проєкту 14 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту: Рівень власного шуму(EIN) - 27–34,5 дБ SPL; Критичний діапазон мовних частот - 2-8 кГц; Розміри корпусу слухового апарату - < 8 см × 6 см.

---

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз сучасного стану засобів слухової реабілітації; обґрунтування схемотехнічного завдання щодо створення прототипу бюджетного слухового апарату; розробка конструкції та конструктивні елементи; проектування електронного модулю; проектування приладу.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): специфікація на пристрій; схема електрична принципова; перелік елементів; складальний кресленик

пристрою; складальний кресленик друкованої плати; специфікація на друкований вузол; плата; кришка корпусу; корпус; гумова проставка; презентація.

б. Дата видачі завдання: 14 квітня 2025 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз сучасного стану засобів слухової реабілітації	14.04.25 – 24.04.25	Виконано
2	Розроблення пропозицій щодо удосконалення бюджетного слухового апарату на базі платформи LoCHAid	24.04.25 - 04.05.25	Виконано
3	Обґрунтування вибору елементної бази	04.05.25 - 14.05.25	Виконано
4	Синтез схеми електричної принципової	14.05.25 - 24.05.25	Виконано
5	Проектування електричного модуля	24.05.25 - 03.06.25	Виконано
6	Проектування приладу на основі базової електричної принципової схеми LoCHAid	03.06.25 - 13.06.25	Виконано

Студент

Владислав ПОТАПЕНКО  
13.06.2025 р.

Керівник

Олег ШАРПАН  
14.06.2025 р.

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 66 сторінок, що включає в себе 28 рисунків, 4 таблиці, 7 креслень, перелік посилань з 54 найменувань, додатки А, Б, В.

У дипломному проєкті досліджено та вдосконалено бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid. Особливістю даного приладу є зменшений рівень власного шуму (EIN), що є критично важливим для користувачів із легкою формою туговухості. Також обґрунтовано необхідність впровадження регульованого RC-фільтра першого порядку на основі потенціометра для адаптації частотної характеристики пристрою до індивідуальних особливостей слуху користувача, а також удосконалена конструкція для покращення умов збірки та експлуатації.

У проєкті виконано повний цикл розробки: синтез електричної принципової схеми, підібрані електрорадіоелементи, виконано трасування друкованої плати для слухового апарату, та спроектовано 3D модель корпусу пристрою. Також на основі базової електричної принципової схеми LoSNAid розроблено дослідницький зразок слухового апарату.

## ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 66 pages, including 28 figures, 4 tables, 7 drawings, a list of references with 54 names, appendices A, B, C.

The diploma project investigated and improved a budget hearing aid based on the LoCHAid platform. A feature of this device is a reduced level of intrinsic noise (EIN), which is critically important for users with a mild form of hearing loss. The need to implement an adjustable first-order RC filter based on a potentiometer to adapt the frequency response of the device to the individual characteristics of the user's hearing is also substantiated, as well as an improved design to improve assembly and operation conditions.

The project completed a full development cycle: synthesis of an electrical schematic diagram, selection of electro-radio components, tracing of a printed circuit board for the hearing aid, and a 3D model of the device case was designed. Also, based on the basic electrical schematic diagram of LoCHAid, a research prototype of a hearing aid was developed.

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проєкту**

на тему: «Бюджетний слуховий апарат на базі платформи  
LoCHAid»

Київ — 2025 року

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСОБІ СЛУХОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ.....	7
1.1 Соціальна та економічна значущість проблеми слухової реабілітації.....	7
1.1.1 Основні причини втрати слуху.....	8
1.1.2 Економічна значущість проблеми погіршення чи втрати слуху.....	9
1.2 Класифікація слухових апаратів за розташуванням.....	11
1.2.1 Завушні слухові апарати.....	11
1.2.2 Внутрішньовушні слухові апарати.....	13
1.3 Класифікація слухових апаратів за принципом дії.....	15
1.3.1 Аналоговий програмований слуховий апарат.....	15
1.3.2 Цифрові слухові апарати.....	16
1.4 Огляд існуючих комерційних слухових апаратів.....	17
1.4.1 Oticon Own.....	17
1.4.2 Oticon Real.....	17
1.4.3 Oticon Intent.....	19
1.4.4 Signia Active Pro.....	22
1.4.5 Signia Charge&Go 5IX.....	22
1.4.6 Signia Styletto 7AX.....	23
1.5 Платформа LoSNAid як нова можливість для створення бюджетних слухових апаратів.....	25
1.5.1 Особливості і можливості платформи LoSNAid як нова перспектива для створення і застосування бюджетних слухових апаратів.....	25
1.5.2 Постановка задачі розроблення і дослідження слухового апарату на базі платформи LoSNAid в межах дипломного проєкту.....	27

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	<i>Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid</i>	Лист.	Лист	Листов
Розробив		Потапенко В.						
Перевіриє.		Шарпан О. Б.					1	66
Н.Контр.		Попсуй В.І				<i>PI-11, РТФ</i>		
Затвердив		Шарпан О.Б.						
					<i>Пояснювальна записка</i>			

Висновки до розділу 1.....	28
2 УДОСКОНАЛЕННЯ БЮДЖЕТНОГО СЛУХОВОГО АПАРАТУ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ LoSNAid.....	30
2.1 Зменшення рівня власного шуму у бюджетному слуховому апараті на базі платформи LoSNAid.....	30
2.1.1 Джерела власного шуму у конструкції слухового апарата.....	30
2.2 Впровадження регулятора частотної характеристики у слуховий апарат.....	33
2.3 Висновки до розділу 2.....	34
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИБІР КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	36
3.1 Вибір елементної бази.....	36
3.2 Вибір мікрофонного модуля.....	36
3.3 Вибір малопотужного підсилювача.....	38
3.4 Вибір блоку живлення.....	39
3.4.1 Тримач для батареї типу CR2032.....	39
3.4.2 Батарейка типу CR2032.....	40
3.5 Вибір аудіороз'єму.....	41
3.6 Вибір перемикача.....	43
3.7 Вибір пасивних елементів.....	44
3.7.1 Вибір регулятора гучності.....	44
3.7.2 Вибір регулятора частоти зрізу у фільтрі.....	45
3.7.3 Вибір резистора для зменшення шуму.....	46
3.7.4 Вибір конденсаторів.....	47
Висновок до розділу 3.....	48
4 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ.....	51
4.1 Метод виготовлення плати.....	51
4.2 Вибір матеріалу плати та обґрунтування вибору припою.....	51
4.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва.....	51
4.4 Розрахунок діаметра монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків.....	52

4.5	Робота в програмному забезпеченні Altium Designer.....	52
4.5.1	Визначення габаритів та параметрів друкованого монтажу.....	52
4.5.2	Трасування провідників.....	53
	Висновок до розділу 4.....	54
	5 ПРОЄКТУВАННЯ ПРИЛАДУ.....	56
	Висновок до розділу 5.....	58
	ВИСНОВКИ.....	59
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
	ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	67
	ДОДАТОК Б. КОМПЛЕКТ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.....	71
	ДОДАТОК В. РОЗРАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ВЛАСНОГО ШУМУ ТА РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	82

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) – матеріал виготовлення корпусу.

AGC – автоматичне регулювання підсилення.

ASHA – функція потокової передачі звуку.

BTE (Behind-The-Ear) – заушні слухові апарати.

CIC (Completely-In-The-Canal) – повністю приховані в каналі слухові апарати.

DNN (Deep Neural Network) – вбудована глибока нейронна мережа.

DSP (Dynamic Sound Processing) – динамічна обробка звуку та навколишнього середовища.

EIN (Equivalent Input Noise) – власний шум.

ITE (In-The-Ear) – внутрішньовушні слухові апарати.

ITC (In-The-Canal) – внутрішньоканальні слухові апарати.

OWP (Own Voice Processing) – обробка власного голосу.

RIC (Receiver-In-Canal) – слуховий апарат з приймачем у вушному каналі.

RMS (Root Mean Square) – середньоквадратичне значення, у контексті EIN маємо на увазі, що цей шум еквівалентний сигналу постійної напруги (мкВ) за енергетичним впливом.

SPL – звуковий тиск, змінний тиск у середовищі, зумовлений поширенням у ньому звукових хвиль.

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата	P111.266012.001 ПЗ				

## ВСТУП

Однією з важливих задач сучасної системи охорони здоров'я є забезпечення доступності засобів слухової реабілітації для широких верств населення. У світі мільйони людей страждають на часткову або повну втрату слуху, що істотно знижує якість їх життя, спричиняє соціальну ізоляцію та обмежує можливості повноцінної комунікації. Ця проблема особливо загострюється в умовах надзвичайних ситуацій, таких як пандемії (зокрема COVID-19) та військовий стан, коли доступ до інформації стає критично важливим. Зокрема, використання захисних масок унеможливорює зчитування інформації з губ, що є важливим способом спілкування для людей з порушеннями слуху. В умовах війни ситуація ускладнюється ще більше: втрата слуху унеможливорює своєчасне реагування на сигнали тривоги, ускладнює доступ до засобів укриття, медичної та психологічної допомоги, а також викликає труднощі під час евакуації.

Незважаючи на високі технологічні можливості сучасних слухових апаратів, більшість з них є недоступними для пересічних громадян через високу вартість, складність налаштування та обслуговування. Особливо це стосується людей похилого віку та жителів країн із обмеженими ресурсами.

Актуальним напрямом є розробка бюджетних слухових апаратів, які базуються на простих, масово доступних компонентах та відкритому апаратному забезпеченні. Такі рішення дозволяють зменшити собівартість пристрою, спростити процес виготовлення та обслуговування, а також зробити апарат більш доступним для локальних спільнот.

Об'єктом дослідження в даній роботі є створення бюджетних слухових апаратів для корекції слуху.

Предметом дослідження є удосконалення бюджетного слухового апарату на базі платформи LoSNAid.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик бюджетного слухового апарату шляхом зменшення рівня еквівалентного власного шуму (EIN), впровадження можливості регулювання частотної

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

*Р111.266012.001 ПЗ*

характеристики та оптимізації конструкції пристрою з урахуванням умов його збирання.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані такі основні завдання:

- 1) Зниження рівня власного шуму (EIN), який у наявних реалізаціях перевищує 40 дБ SPL;
- 2) Важливо забезпечити регулювання частотної характеристики пристрою замість однорівневої фіксованої;
- 3) Удосконалення конструкції пристрою з урахуванням простоти виготовлення, збирання та експлуатації.

Запропонований підхід спрямований на створення ефективного, доступного та зручного у використанні слухового апарату, який може значно покращити якість життя людей з вадами слуху в різних соціально-економічних умовах.

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа_</i>	<i>Подпись_</i>	<i>Дата</i>		6

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ СЛУХОВОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ

## 1.1 Соціальна та економічна значущість проблеми слухової реабілітації

Одною з важливих сучасних завдань медичного обслуговування населення є розроблення і впровадження засобів слухової реабілітації широких верств населення країн всього світу. На сьогодні мільйони людей страждають від часткової або повної втрати слуху. Це є великою проблемою, яка суттєво знижує соціальний статус цих людей, як в умовах звичайного нормального життя, так і особливо в умовах епідемій (особливо в умовах COVID-19) і військового стану. В цих ситуаціях значно погіршується умови отримання інформації, що призводить до ізолюваності і відчуження людей з вадами слуху і може призвести до погіршення здоров'я і навіть втрати життя.

Так під час епідемій і необхідності застосування маскового режиму наявні обмеження зчитувати інформацію по губам. Через маски захисту від поширення COVID-19 люди з вадами слуху перестали розуміти, коли до них хтось звертається, тому що не бачать губ співрозмовника. А люди з порушеннями слуху використовують для спілкування не лише жестову мову – вони також можуть читати по губах, тобто, розпізнають мову також і завдяки артикуляції.

В умовах військового стану ще більше загострена ізолюваність і відчуженість людей з вадами слуху та підвищена небезпека для їх життя, оскільки обмежується доступність інформації про повітряну тривогу, розміщення засобів укриття.

Для людей з вадами слуху характерна також відсутність доступу до «гарячої лінії», дистанційних консультацій медпрацівників, психологів.

Ще одна проблема виникає під час евакуації та виїзду людей з вадами слуху за кордон [4].

					Р111.266012.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		7

Отже, люди з вади слуху потребують особливої уваги і захисту шляхом застосування методів та засобів слухової реабілітації. Ця задача є актуальною не лише в Україні, а й в усьому світі.

### 1.1.1 Основні причини втрати слуху

Переважна більшість населення, яка потребує слухової реабілітації, страждає на часткову втрату слуху, обумовлену рядом причин. Розглянемо ці причини і можливості покращення рівня життя населення з вадами часткової втрати слуху шляхом застосування радіоелектронних технічних засобів реабілітації — слухових апаратів.

Серед основних причин втрати слуху слід назвати вікові зміни звукової чутливості, які обумовлені деградацією структур зовнішнього вуха, насамперед підвищенням тону (жорсткості) барабанної перетинки, а також з розвитком пресбіакузису.

**Пресбіакузис** - це порушення звукосприйняття, яке зумовлене дистрофічними й атрофічними змінами вікового характеру у внутрішньому вусі, зокрема в кортієвому органі та спіральному ганглії завитки [1].

Пресбіакузис є різновид порушення слухової функції, пов'язаний із віковими дегенеративними змінами, що переважно спостерігається у людей літнього віку. Такий тип приглухуватості характеризується зменшенням діапазону сприйняття звуків, насамперед високих частот.

Хоча пресбіакузію традиційно вважають природним наслідком старіння, сучасні дослідження показують, що її розвиток можливий і у молодших осіб — зокрема, в умовах постійного впливу інтенсивного шуму.

Головним фактором розвитку пресбіакузії є відмирання волоскових клітин у внутрішньому вусі, які відіграють ключову роль у передаванні звукових сигналів до слухових центрів головного мозку. Порушення слухової функції можуть виникати як внаслідок вроджених особливостей, так і через набуті фактори, серед яких:

- 1) генетика, вроджені патології розвитку;

										Лист
										8
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

Р111.266012.001 ПЗ



технологій до якості відтворення звуку. Дорожчі пристрої, як правило, оснащені більш складною електронікою, що дає змогу точно підлаштовувати їх під індивідуальні слухові потреби користувача. Такі апарати часто використовують сучасні цифрові рішення, що забезпечують чистіший звук і зменшують спотворення. У той час як бюджетні моделі зазвичай базуються на простішій аналоговій технології, яка може бути менш ефективною у компенсації втрати слуху.

Також під час вибору слухового апарата враховується, для якої категорії користувачів він призначений — дітей, літніх людей чи дорослих із певними слуховими порушеннями. Дорогі моделі зазвичай мають ширші можливості індивідуального налаштування, що особливо важливо при складних формах втрати слуху. Наприклад, заушні пристрої можуть бути оснащені функціями приглушення фонових шумів або автоматичного регулювання гучності. Внутрішньовушні чи кишенькові апарати, хоч і компактніші, також можуть мати подібні опції, але ціна залежить від технічної складності конкретної моделі.

При виборі слухового апарату ключову роль відіграє не лише ціна, а й здатність слухового апарата адаптуватися до індивідуальних потреб. Завдяки широкому вибору сучасних моделей і кваліфікованій допомозі спеціаліста, можна підібрати пристрій, що найкраще відповідатиме особливостям слуху кожного користувача [9].

Ціна слухового апарата часто відіграє вирішальну роль, особливо коли мова йде про пристрої для людей літнього віку. Існує думка, що немає сенсу купувати дорогі моделі, оскільки вікові зміни слуху вже незворотні. Проте така позиція є хибною. Сучасні цифрові пристрої можуть значно покращити якість життя, адже здатні приглушувати зайві шуми та посилювати мовлення, що особливо важливо для літніх людей із віковим зниженням слуху.

Професійний підбір фахівцем слухового апарату враховує вікові особливості пацієнтів похилого віку, зокрема знижену рухливість або погіршення когнітивних здібностей. Наприклад, заушні моделі часто зручніші в експлуатації, оскільки їх легко надягати та знімати. Натомість

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		10

внутрішньовушні апарати, хоч і менш помітні, можуть виявитися складнішими в керуванні. Тому важливо не лише визначитися з типом пристрою, а й підібрати варіант, який буде зручним для щоденного використання.

Слід зазначити, що дорогі слухові апарати зазвичай вирізняються підвищеною надійністю та тривалим терміном служби. Водночас це не завжди є перевагою для літніх людей, оскільки у них можуть виникати складнощі з обслуговуванням або ремонтом таких пристроїв. На сьогоднішньому ринку представлений широкий вибір моделей, тому важливо зосередитися не лише на виборі оптимального варіанту, але й переконатися в його якості, зручності у щоденному використанні та стабільній роботі [9].

## **1.2 Класифікація слухових апаратів за розташуванням.**

### **1.2.1 Завушні слухові апарати - ВТЕ (Behind-The-Ear).**

Завушні слухові апарати є класичним засобом компенсації порушень слуху. Сучасні моделі відзначаються компактними розмірами та оригінальним зовнішнім виглядом. Водночас слід враховувати, що зі зростанням потужності апарату збільшується його розмір. Переважна більшість таких пристроїв обладнана індукційною котушкою та сумісна з навчальними системами, підсилювачами звуку й мобільними телефонами. Однією з ключових переваг завушних апаратів є їхня надійність і простота у використанні — за належного догляду вони можуть працювати тривалий час без потреби у регулярному технічному обслуговуванні.

Для ефективного використання завушних слухових апаратів необхідне додаткове оснащення індивідуальною вушною вкладкою. Такий компонент покращує акустичні характеристики пристрою та допомагає зменшити дискомфорт, спричинений носінням стороннього предмета у вушному каналі [10].

Останнім часом з'явився новий тип слухових апаратів, призначений для так званого «відкритого слухопротезування». Ці пристрої розроблені спеціально для користувачів із легкою втратою слуху, які мають труднощі зі сприйняттям мовлення в умовах шуму. Завдяки своєму сучасному дизайну та

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

*Р111.266012.001 ПЗ*

майже непомітному вигляду, вони виглядають естетично й мають високу привабливість.

Слуховий апарат з приймачем у вушному каналі RIC (Reciver-In-Canal) – представляє собою сучасну конструкцію, призначену для користувачів із середнім або значним ступенем втрати слуху. На відміну від традиційних моделей типу ВТЕ, у RIC-апаратах ресивер розташовується не в корпусі пристрою, а безпосередньо у вушній вкладці, що дозволяє зменшити розміри самого апарата. Конструкція складається з трьох основних елементів: корпусу, який кріпиться за вухом, тонкого з'єднувального провідника та вбудованого у вушний канал ресивера. Незважаючи на свою компактність, слухові апарати типу RIC є потужними і повністю автоматичними.

До позитивних якостей заушних слухових апаратів слід віднести:

- 1) широку функціональність;
- 2) надійність корпусу;
- 3) високі компенсаційні можливості;
- 4) простота обслуговування.

Завушні слухові апарати зустрічаються в таких варіантах:

- 1) Класичний заушний слуховий апарат (рис. 1.1)



Рисунок 1.1– Класичний варіант слухового апарату ВТЕ (Behind The Ear)[10]

Сфера використання таких апаратів охоплює широкий спектр — від незначних порушень слуху до його глибокої втрати. Вони прості у догляді та експлуатації, що робить їх особливо зручними для людей похилого віку.

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата	PI11.266012.001 ПЗ				

2) Міні заушний слуховий апарат (miniBTE). Виготовляється в компактному корпусі зі збереженням функціональності оригінальних BTE апаратів.

3) Слуховий апарат RITE та miniRITE. Аналогія по розмірі корпусу зберігається. В апаратах типу RITE ресівер (динамік) розташований у вусі, а вся електроніка знаходиться у компактному корпусі за вухом. Ресівер з'єднується із корпусом з використанням тонкого проводу. Такий підхід дозволяє використовувати менш потужний ресівер в порівнянні зі звичайним BTE, проте такий апарат легше зіпсувати, що може перешкодити вибору такого апарату для дітей [10].

З технічної точки зору слухові апарати типу RITE вважаються більш прогресивними, оскільки винесення мікрофона і ресивера в окремі частини пристрою усуває низку фізичних обмежень. Такий підхід дозволяє застосовувати високоякісні мікрофони, зокрема багатоканальні системи, без ризику взаємного впливу з боку ресивера, що не можна реалізувати у моделях типу BTE.

У цілому заушні слухові апарати здатні впоратися з будь-яким завданням, яке ставить перед собою аудіолог у процесі підбору слухопротезування. Вони мають ширші функціональні можливості порівняно з внутрішньовушними моделями та, як правило, не вимагають індивідуального виготовлення, за винятком вушних вкладишів.

### **1.2.2 Внутрішньовушні слухові апарати.**

Виготовляються індивідуально по зліпку зовнішнього слухового проходу пацієнта. За місцем розташування вони, в свою чергу, поділяються на:

Внутрішньовушні слухові апарати - ITE (In-The-Ear) - найбільш значні за розмірами і потужності слухові апарати. Ці апарати можуть бути оснащені не тільки регулятором гучності, а й індукційною котушкою, що дозволяє пацієнтові використовувати різну звукопідсилюючу апаратуру. В їх корпусі можливе виготовлення вентильного отвору для здійснення точного налаштування слухового апарату та аерації вуха.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

*PI11.266012.001 ПЗ*

Внутрішньоканальні слухові апарати - ІТС (In-The-Canal) - значно менші за розміром, але і значно менш потужні. Вони, як правило, мають регулятор гучності, але в них немає індукційної котушки. В окремих випадках можливе виготовлення вентильного отвору.

Повністю приховані в каналі - СІС (Completely-In-The-Canal) - мініатюрні слухові апарати, які з вуха можна витягти тільки за спеціальну волосінь, тобто вони практично невидимі. Регулятор гучності в них відсутній. На ранніх стадіях порушення слуху ці слухові апарати допомагають зберегти сприйняття звуків на максимально можливому рівні [10].

Головними обмеженнями у використанні внутрішньовушних слухових апаратів є їх мала потужність, а також те, що з їх допомогою можна протезувати пацієнтів з хронічними запальними процесами у вусі. Такі апарати потребують особливо обережного і дбайливого поводження з ними, постійного профілактичного догляду. Крім того, слід також пам'ятати, що чим менше розмір слухового каналу, тим важче непомітно розмістити слуховий апарат у вусі.

Внутрішньовушні слухові апарати із зовнішнім мікрофоном (Mic RM — Remote Microphone) — тип слухових апаратів в якому розробники намагались знайти компроміс між розміром та ефективністю. Зовнішній мікрофон дозволяє краще сприймати звуки із навколишнього середовища та водночас значно знижує вплив ресівера на нього, що дозволяє використовувати більш потужні ресівери. Проте в такому випадку страждатиме енергоефективність.

Приклади варіантів конструктивного виконання і зовнішнього вигляду внутрішньовушних слухових апаратів наведені на рисунку 1.2.

Внутрішньовушні слухові апарати можуть стати ідеальним рішенням для пацієнтів із легкою та середньою втратою слуху. Ці малопомітні помічники зможуть суттєво покращити якість життя людей із вадами слуху не змінюючи їх звичний спосіб життя.



**1.3.2 Цифрові слухові апарати.** Такий слуховий апарат «запам'ятовує» за допомогою комп'ютера вашу аудіограму (графічну характеристику слуху) пацієнта і працює відповідно до неї. Тобто параметри та характеристики цього апарата пристосовані для компенсації саме вашої втрати слуху, при цьому досягається висока якість звучання та розбірливості. Крім того, цифровий апарат автоматично міняє настройку в залежності від ситуації (в умовах шуму або тиші). Сьогодні, сучасні слухові апарати можна програмувати під час процесу підгонки з урахуванням всіх акустичних особливостей слуху слабчучих. В результаті досягається висока якість звучання і розбірливості, придушення шумів, слабкі звуки робляться помітними, а сильні комфортними. Апарат можна налаштувати автоматично в залежності від ситуації - розмова, телевизор, вулиця, концертний зал і т.п. Наприклад, деякі моделі мають кілька профілів прослуховування, їх можна вибрати за допомогою кнопки на слуховому апараті. Виробники слухових апаратів рухаються до третього або до четвертого покоління цифрових продуктів. Цифрова технологія, з плином часу, стала більш стабільною. З кожним новим поколінням техніки, в слухових апаратах використовується все менше компонентів. Це означає, що звук, який відчуває людина в перший день прийому слухового апарату, залишається незмінним до тих пір, поки програма не буде змінена [10].

Цифровий програмований слуховий апарат поєднує всі переваги аналогових пристроїв, доповнені можливістю цифрової обробки звуку. Це дозволяє спеціалісту змінювати параметри сигналу, адаптуючи його характеристики до потреб користувача. Завдяки цьому можна точно налаштувати частотний діапазон і рівень гучності, забезпечуючи якісне сприйняття звуків у будь-яких умовах. Такі апарати відзначаються високою гнучкістю та ефективністю, однак їх вартість є досить високою.

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

*Р111.266012.001 ПЗ*



Головне покращення - це найкраще вирішення ключових проблем у слухових апаратах, таких, як:

- 1) раптові тихі звуки;
- 2) раптові гучні звуки;
- 3) шум вітру;
- 4) реагування слухових апаратів на торкання їхнього корпусу.

Sudden Sound Stabilizer розпізнає 500 000 раптових звуків повсякденного життя. Ця технологія швидко реагує, розпізнаючи та стабілізуючи раптові різкі звуки, зберігаючи розуміння мови. Всі ці функції є частиною нової технології RealSound.

Слуховий апарат Oticon Real випускається у трьох рівнях функціональності та у чотирьох моделях.

Oticon Real miniRite T - слуховий апарат із виносним ресивером, включає батарею 312, індукційну котушку, Bluetooth та подвійну кнопку;

Oticon Real miniRite R - слуховий апарат з виносним ресивером, включає акумулятор, що перезаряджається, індукційну котушку, Bluetooth і подвійну кнопку;

Oticon Real miniBTE T - традиційний заушний слуховий апарат, що включає батарею 312, індукційну котушку, Bluetooth та одну кнопку;

Oticon Real miniBTE R - традиційний заушний слуховий апарат, включає акумулятор, що перезаряджається, індукційну котушку, Bluetooth і одну кнопку [12].



Рисунок 1.3 – Приклад слухового апарату Oticon Real 1mini BTE R [15]

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		18

Можливості підключення. Слухові апарати можна використовувати як гарнітуру для гучномовного зв'язку під час телефонних дзвінків із iPhone або iPad, починаючи з моделі iPhone 11 та новіших, що працюють на iOS 15 або вище. Крім того, можлива потокова передача з iPhone, iPad або Android, якщо пристрій підтримує функцію потокової передачі звуку ASHA.

**1.4.3 Oticon Intent.** Слуховий апарат Oticon Intent — це інноваційне рішення для покращення якості слухового сприйняття. Він оснащений сучасним дизайном із виносним ресивером і має зручний акумулятор, що підлягає перезарядженню.



Рисунок 1.4 – Приклад слухового апарату Oticon Intent 3 mini RITE [16]

Oticon Intent заснований на новій платформі Sirius, яка вперше зважає на наміри користувача при обробці звуку. Нова технологія 4D Sensor, інтегрована в MoreSound Intelligence™ 3.0 і поєднує чотири різних типи датчиків, які використовуються слуховим апаратом для розуміння та реагування на потреби користувача.

Апарат має вбудований акселерометр для визначення руху голови та тіла. Він є невеликим енергоефективним датчиком руху. Акселерометр вимірює прискорення рухів користувача, чим швидше і енергійніше рух, тим сильніший вплив на акселерометр. Вимірювання відбувається за трьома осями X, Y, Z. Рух осі Z вказує на повний рух (наприклад ходьбу або біг), що може вказувати на те, що важливо усвідомлювати довкілля. Рух осями X і Y вказує на кивки і повороти голови, що означає участь у розмові з кількома людьми. Поодинокі рухи по осях X і Y означає, що користувач нерухомий, це може вказувати на те, що людина бере участь у розмові віч-на-віч, і для цього потрібна увага.

Розмовна активність. Визначає наявність мови. Якщо у передній напівплощині немає помітної мови, розмова не ведеться [13].

Аналіз акустичного звукового середовища. Цей датчик є частиною системи, що забезпечує підтримку там, де необхідно. У простих умовах, з низьким рівнем шуму, і хорошим співвідношенням сигнал/шум, люди зазвичай спілкуються без додаткової допомоги з боку слухового апарату, крім посилення.

Цей датчик визначає рівень звуку в Дб SPL. Залежно від загального рівня звукового тиску цей датчик спонукає систему шумоподавлення активуватися чи ні. Поріг включення додаткового шумоподавлення залежить від налаштувань. Це дозволяє Oticon Intent прогнозувати наміри користувача чути різні джерела звуку і є більш ефективним процесом, ніж просто використання аналізу акустичного середовища та простих детекторів руху.

Глибока нейронна мережа DNN 2.0. Нова DNN 2.0 (глибока нейронна мережа) пройшла покращену підготовку, що призвело до більш ефективного придушення шуму, ніж усі попередні моделі слухових апаратів. Це нове покоління глибоких нейронних мереж, розроблене з використанням нових раундів навчання. Мережа DNN працює зі звуковими сценами, щоб вона могла вирішувати завдання балансування.

Звукові зразки, записані для навчання DNN 2.0, більш різноманітні, ніж у попередньому поколінні. DNN 2.0 виробляє чіткіший звук, зберігаючи при цьому більше вихідних сигналів [13].

Параметри Oticon Own 1 CIC надані у таблиці 1.2.



Рисунок 1.5 – Приклад слухового апарату Oticon Own 1 CIC [14]

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики слухових апаратів Own

[14,15,16]

Параметри	Oticon Own 1 CIC	Oticon Real 1 miniBTE R	Oticon Intent 3 miniRITE
Кількість каналів	24	24	18
Штучний інтелект	MoreSound Intelligence 3.0	MoreSound Intelligence 2.0	MoreSound Intelligence™ 3.0 з 4D-сенсорами та Deep Neural Network 2.0
Втрата слуху	90 Дб	85 Дб	105 Дб
Ступінь захисту	IP68	IP68	IP68
Батарейка	Одноразова(розмір 10 або 312)	Акумуляторна(літій-іонна)	Акумуляторна(літій-іонна)
Bluetooth	Підтримка MFi (iPhone) та ASHA (Android) у моделях ITE HS та FS; моделі CIC та ПС не підтримують Bluetooth	Підтримка MFi (iPhone) та ASHA (Android)	Підтримка Bluetooth LE Audio, Auracast, MFi (iPhone), ASHA (Android)
Керування смартфоном	Відсутнє	Oticon Companion	Додаток Oticon Companion з підтримкою телемедицини, пошуку апарату та налаштуваннями
Ціна	98654 гривень	64200 гривень	73509 гривень

Signia, раніше відома як Siemens, є провідним виробником слухових апаратів, що пропонує повний асортимент слухових апаратів для всіх типів і рівнів втрати слуху. Компанія Signia, заснована в 1847 році, заслужила репутацію за останнє століття і наразі постачає кожен четвертий слуховий апарат у всьому світі. Їх передова технологія слухових апаратів дозволяє користувачам чути краще з меншими зусиллями.

Власна технологія слуху від Signia імітує те, як мозок використовує звукову інформацію з обох вух для обробки звуків, створюючи більш природне відчуття від прослуховування та кращу локалізацію звуку. Вони також представили слухові апарати з прямим підключенням до iPhone і мобільних додатків для легкого бездротового керування налаштуваннями слухового апарату [17].

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ Документа	Підпись	Дата						

P111.266012.001 ПЗ





Рисунок 1.7 – Приклад слухового апарату Charge&Go 5IX[19]

Платформа Signia Integrated Xperience (IX) — перша у світі з багатопотоковою обробкою, яка в реальному часі відстежує положення кількох співрозмовників і адаптується до змін для кращого сприйняття мови та зменшення шуму.

Технологія RealTime Conversation Enhancement складається з трьох етапів:

- 1) аналізу 192 000 точок даних/сек для ідентифікації співрозмовників;
- 2) доповнення мовлення з фокусуванням на всіх учасниках;
- 3) адаптації середовища 1000 разів/сек для природного сприйняття розмови.

Також впроваджено Own Voice Processing 2,0, що дозволяє чітко відрізнити власний голос користувача та зберігати його природність під час розмови [19].

**1.4.6 Signia Styletto 7AX** – надтонкий стильний слуховий апарат на платформі Augmented Xperience, що поєднує чітке розпізнавання мовлення навіть у шумі та підтримку потокової передачі звуку з iOS і Android (ASHA). Завдяки технології Augmented Focus апарат роздільно обробляє мову і шум для максимальної чіткості. Має покращену ергономіку порівняно з попередниками та підходить для втрати слуху від легкої до тяжкої. Оснащений додатками

myWellbeing для моніторингу активності користувача та Signia Assistant з підтримкою ШІ для автоматичних налаштувань [20].



Рисунок 1.8 – Приклад слухового апарату Signia Styletto 7AX[20]

Основні характеристики варіантів слухових апаратів Signia наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики слухових апаратів Signia [18,19,20]

Параметри	Signia Active Pro	Signia Pure Charge&Go 5 IX	Signia Styletto 7AX Augmented Xperience
Кількість каналів	20	18	20
Штучний інтелект	Signia Assistant – AI-помічник для адаптації під потреби користувача в режимі реального часу	Signia Integrated Xperience – адаптація у реальному часі на основі позиціонування користувача, напрямку розмови, середовища	Augmented Focus™ + AI – система подвійної обробки сигналу, розділення мови та фону, адаптація до ситуації
Втрата слуху	70 Дб	105 Дб	105 Дб
Ступінь захисту	IP68	IP68	IP68
Батарейка	Акумуляторна(літій-іонна)	Акумуляторна(літій-іонна)	Акумуляторна(літій-іонна)
Bluetooth	Слуховий апарат має потокову передачу даних безпосередньо в Iphone, для смартфонів Android слід придбати окремий пристрій StreamLine Mic. Терапія тиннітуса запатентована компанією <u>Signia</u> <u>Notched Therapy</u> .	Так, пряме підключення	Так, пряме підключення
Керування смартфоном	Додаток Signia Assistant	Додаток Signia App	Додаток Signia App
Ціна	приблизно 120 000 – 280 000 гривень	Не вказано	Від 99 999 гривень

## 1.5 Платформа LoSNAid як нова можливість для створення і застосування бюджетних слухових апаратів

### 1.5.1 Особливості і можливості платформи LoSNAid як нова перспектива для створення і застосування бюджетних слухових апаратів

Проведений вище аналіз показав високу ефективність сучасних слухових апаратів, що пропонуються на ринку. Але основним обмеженням застосування таких апаратів є занадто висока їх вартість, яка часто недоступна людям зі зниженим слухом. Також обмеженням є необхідність складних процедур налаштування оптимальних режимів роботи таких апаратів, що





Задача розроблення нових зразків , уточнення і покращення характеристик з урахуванням індивідуальних особливостей і потреб споживачів подібних апаратів доцільні з таких причин.

1) Подальші дослідження для валідації параметрів реальних зразків слухових апаратів на основі сучасної елементній базі, зменшення і оптимізація габаритних розмірів, використання тривалих чи відновлювальних джерел живлення, реалізації можливості корегування частотних аудіохарактеристик пристроїв з урахуванням динамічно змінюваної індивідуальної приглухуватості людини тощо.

2) Відсутність довгострокових тестів на надійність. Орієнтовний термін служби пристрою, зазначений авторами розробки, становить 1.5 року, але потрібні випробування на знос та довговічність.

3) Не завершено клінічні випробування в реальних умовах. Наразі проводяться клінічні дослідження у Малаві та Індії, результати яких не доступні, зразки апаратів відсутні в Україні.

4) Наразі є потреба у використанні таких зразків апаратів в рамках лабораторних робіт курсу Радіоелектронні медичні системи і комплекси.

**Висновки до розділу 1.** Аналіз стану засобів слухової реабілітації показав високі можливості сучасних слухових апаратів, заснованих на технологіях цифрового оброблення сигналів. Але основними обмеженнями використання таких апаратів для пересічних громадян, особливо громадян похилого віку, є їх висока вартість, складність управління режимом їх роботи і обслуговування.

Для створення недорогого слухового апарату найбільш перспективними є підходи, які базуються на використанні масово доступних і стандартних компонентів. Це дозволить значно знизити вартість пристрою та спростити його виробництво, водночас підвищуючи надійність. Мінімалістичний дизайн, що виключає складні цифрові процесори, сприяє зменшенню кількості деталей і робить пристрій доступнішим для широкого кола користувачів.

Важливою перевагою є застосування відкритого апаратного забезпечення, яке дає змогу локальним громадам самостійно виготовляти,

ремонтувати і налаштовувати пристрої, що особливо актуально для країн із обмеженими ресурсами та браком кваліфікованих спеціалістів. Особливу увагу слід приділяти зручності експлуатації, зокрема конструкції, орієнтованій на людей похилого віку, яким легше користуватися пристроями, що носяться на тілі, а не у вусі.

Крім того, застосування довговічних джерел живлення, таких як літій-іонні акумулятори або сонячні панелі, дозволить зменшити приховані витрати на обслуговування та підвищить автономність пристрою. Можливість базового регулювання частотної характеристики забезпечить адаптацію слухового апарату під індивідуальні потреби користувача без необхідності складного налаштування. Особливо важливо забезпечити простоту зборки і використання пристрою, щоб зробити його доступним для людей із обмеженими моторними навичками, зокрема для літніх користувачів.

Таким чином, поєднання доступної технології, зручного дизайну та відкритої моделі виробництва створить міцну основу для розробки ефективних і недорогих слухових апаратів, що можуть значно покращити якість життя користувачів у різних соціально-економічних умовах.

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа_</i>	<i>Подпись_</i>	<i>Дата</i>		29

## **2 УДОСКОНАЛЕННЯ БЮДЖЕТНОГО СЛУХОВОГО АПАРАТУ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ LoCHAID**

**Передмова.** На основі проведеного аналізу, на сучасному етапі розвитку слухових апаратів на базі платформи LoCHAid, доцільно виконати подальше їх удосконалення, насамперед, за такими напрямками.

1. Доцільно знизити рівень власного шуму (EIN - Еквівалентний вхідний шум), який зараз становить 40 дБ SPL (Інтенсивність звуку повітрі, яку сприймає мікрофон) і перевищує прийнятні стандарти (27 – 34,5 дБ SPL). Високий шум ускладнює розпізнавання мовлення, особливо для користувачів із незначною втратою слуху.

2. Також важливо забезпечити регулювання частотної характеристики пристрою замість однорівневої фіксованої, що дозволить краще адаптувати слуховий апарат під індивідуальні потреби користувача.

3. Крім того, доцільно удосконалити конструкцію та умови збірки, оскільки неточна пайка або неправильне розміщення компонентів можуть погіршувати характеристики пристрою та підвищувати рівень шуму.

### **2.1 Зменшення рівня власного шуму (EIN) у бюджетному слуховому апараті на базі LoCHAID**

#### **2.1.1 Джерела власного шуму (EIN) у конструкції слухового апарата**

Власний шум (Equivalent Input Noise, EIN) є одним із ключових параметрів, що впливає на якість слухового апарата, особливо для користувачів із легкою або помірною втратою слуху. Для бюджетної платформи LoCHAid, основними джерелами шуму є: мікрофонний підсилювач, підсилювач потужності та елемент живлення.

#### **Мікрофонний підсилювач MAX9814**

Цей недорогий високоякісний мікрофон підсилювач із функцією автоматичного регулювання підсилення (AGC) відповідає за перше посилення звукового сигналу. Підсилювач MAX9814 широко використовується у споживчій аудіотехніці через простоту підключення та мікроскопічні розміри, однак має відносно високий рівень власного шуму.

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

Типовий EIN для MAX9814 становить близько 40 дБ SPL(звуковий тиск) [22].

**Тепловий шум резисторів (Johnson–Nyquist noise)** генерується елементами R1, R2 (68 кОм, схема на рис.2.1). Виникнення теплових шумів пов'язано з флуктуаційними змінами об'ємної концентрації електронів у резистивному елементі, обумовленими їх тепловим рухом. Внаслідок хаотичного руху електронів частотний спектр теплових шумів виявляється безперервним, а його енергія рівномірно розподілена до дуже великих частот [23].

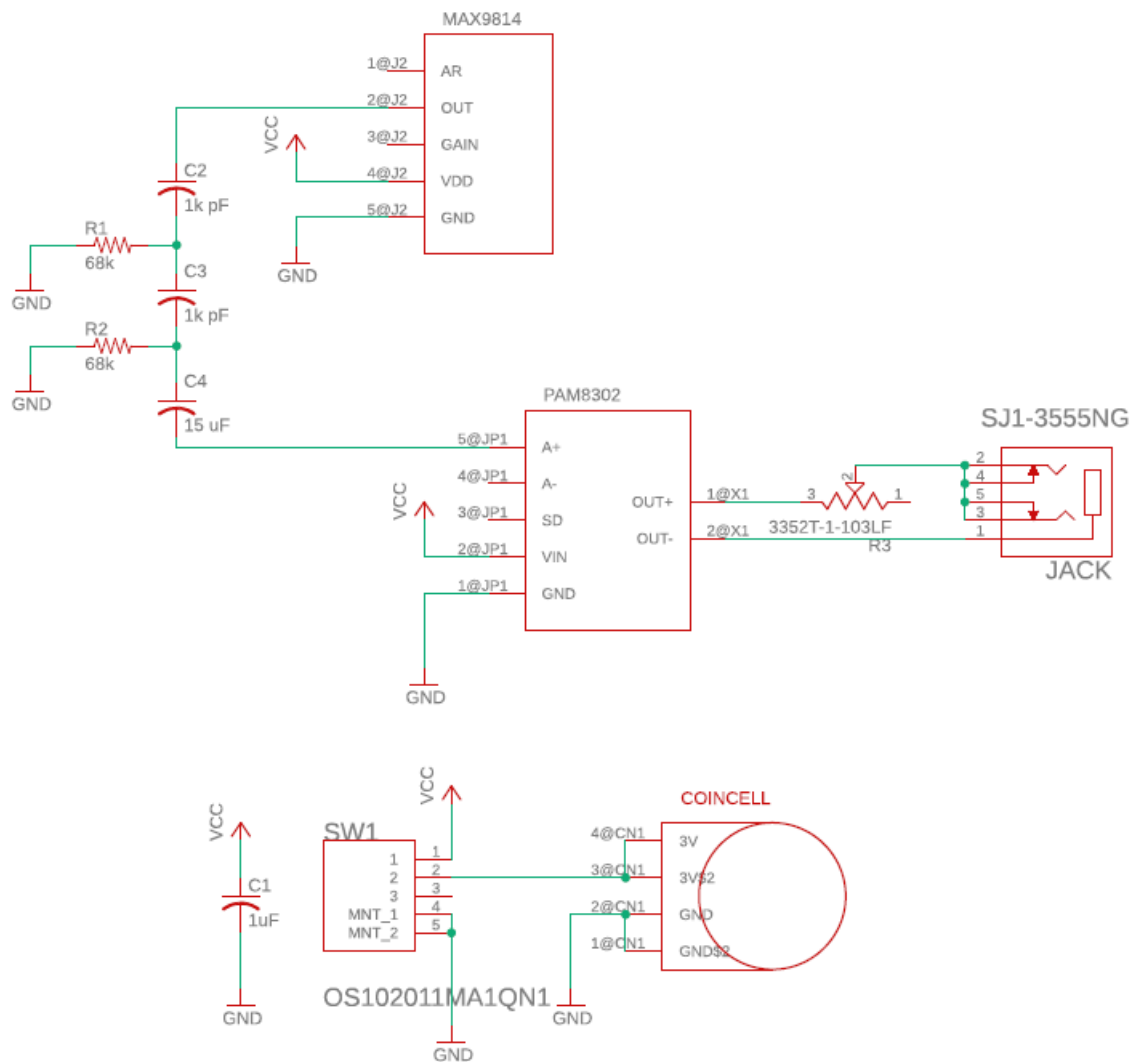


Рисунок 2.1 - Базова електрична принципова схема LoCHAid [24]

Середній квадрат напруги теплового шуму залежить лише від активного опору провідника  $R$  та абсолютної температури провідника  $T$  і може бути розрахований за формулою Найквіста:

$$e_t = \sqrt{4kTR\Delta f},$$

де  $k$  - постійна Больцмана,  $\Delta f$  - смуга частот, в якій проводяться вимірювання [25].

**Конденсатори (C2, C3, C4, схема на рис.2.1)** формують частотну характеристику підсилювача. Зокрема, вихідний конденсатор (C4) забезпечує високочастотне зрізання, зменшуючи гул та низькочастотний шум.

**Нестабільне живлення** (напруга VCC) спричиняє перешкоди на виході через недостатню фільтрацію. Це особливо критично для підсилювачів із високим коефіцієнтом підсилення.

### **Підсилювач потужності PAM8302**

Цей підсилювач класу D використовується для керування динаміком.

**Шум комутації** (на частотах  $\sim 250$  кГц) виникає через імпульсний принцип роботи й може бути чутним без належної фільтрації [26].

**Вхідні перешкоди** (високоомне навантаження або нестабільний сигнал з MAX9814) також спричиняють додатковий шум.

**Наявність пульсацій живлення** без стабілізації або фільтрації посилює вихідні шумові компоненти.

### **Джерело живлення – літієва батарея (типу “Coincell”)**

Під час розряду напруга батареї може виходити за задані межі, що призводить до нестабільної роботи пристроїв та підвищення рівня шуму [27].

Відсутність LC-фільтра або стабілізатора (наприклад, LDO-регулятора) сприяє передачі пульсацій живлення на вихід аудіосигналу.

Основним джерелом підвищеного EIN у схемі LoCHAid є мікрофонний підсилювач MAX9814, з додатковим внеском теплового шуму від резисторів та не стабільного живлення. Підвищений шум може бути значно зменшений за рахунок:

1. заміни підсилювача на менш шумний МАХ4466;
2. зниження опорів резисторів у ланцюзі вхідного підсилення на 22 кОм;

## 2.2 Впровадження регулятора частотної характеристики у слуховий апарат

Однією з ключових вимог до сучасних слухових апаратів є можливість індивідуального налаштування частотної характеристики відповідно до профілю втрати слуху конкретного користувача. Згідно з клінічними дослідженнями, втрати слуху у людей, особливо при сенсоневральній туговухості, мають частотну специфіку — найчастіше спостерігається зниження чутливості до високих частот у діапазоні 3–8 кГц.

У базовій версії LoCHAid використовується фіксований RC-фільтр другого порядку, що складається з двох послідовних RC-каскадів з такими номіналами:

- 1) резистори:  $R1=R2=68 \text{ кОм}$ ,
- 2) конденсатори:  $C2=C3=1 \text{ нФ}$ .

Ця конфігурація забезпечує постійну частоту зрізу приблизно:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C};$$

(для одного каскаду), а для другого порядку з урахуванням падіння на 3 дБ:

$$f_{c(2)} = \frac{f_c}{\sqrt{2}} [28]$$

Це значення є фіксованим і не дозволяє налаштувати слуховий апарат під потреби користувача з іншим профілем втрати слуху.

Встановлення регульованого RC-фільтру

Щоб покращити функціональність та адаптивність пристрою, до аналогової частини схеми буде доданий RC-фільтр першого порядку, виконаний на: потенціометрі з опором  $R2=1-50 \text{ кОм}$ , конденсаторі  $C=1 \text{ нФ}$ , що зображено на схемі рис. 2.2

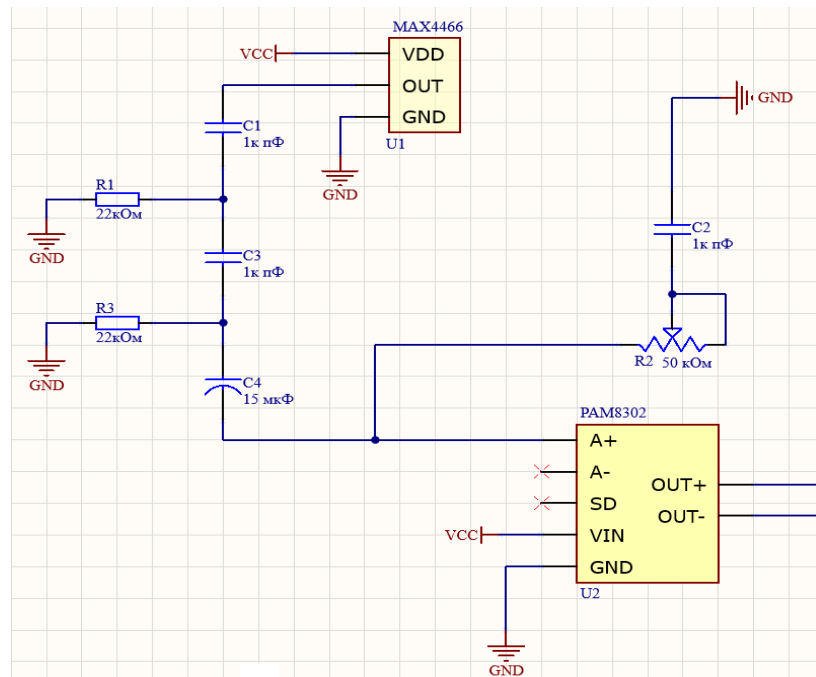


Рисунок 2.2 – Аналогова частина оновленої електрична принципова схема LoCHAid

Цей фільтр підключено паралельно до основного тракту, що дозволяє змінювати ступінь ослаблення високих частот без втручання у базову схему. При зміні положення повзунка потенціометра змінюється частота зрізу фільтра.

#### Вплив на амплітудно-частотну характеристику

Регульований фільтр забезпечить гнучке ослаблення високих частот, змінюючи нахил АЧХ. Це дозволяє:

- 1) компенсувати втрату слуху у високочастотній області,
- 2) покращити розбірливість мови,
- 3) адаптувати пристрій до різних умов середовища (наприклад, гучні ВЧ шуми в транспорті).

**Висновки до розділу 2.** Було розглянуто шляхи технічного вдосконалення бюджетного слухового апарата на базі платформи LoCHAid. Основну увагу приділено зменшенню рівня власного шуму (EIN), що є критично важливим для користувачів із легкою формою туговухості. Проаналізовано основні джерела шуму у схемі пристрою: мікрофонний підсилювач MAX9814, теплові шуми резисторів, нестабільне живлення та підсилювач класу D. Запропоновано заходи щодо зниження EIN, зокрема

заміну підсилювача на малошумний аналог МАХ4466 та оптимізацію значень резисторів у сигнальному трактові.

Крім того, обґрунтовано необхідність впровадження регульованого RC-фільтра першого порядку на основі потенціометра для адаптації частотної характеристики пристрою до індивідуальних особливостей слуху користувача. Це дозволить покращити якість передачі мовлення та комфортність використання слухового апарата в різних акустичних умовах.

Таким чином, запропоновані технічні рішення спрямовані на підвищення функціональності, якості звуку та універсальності пристрою без істотного зростання його вартості.

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		35

## 3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИБІР КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

### 3.1 Вибір елементної бази

Вибір елементної бази для реалізації функціональної схеми бюджетного слухового апарату на основі модифікованої платформи LoSNAid відбувається з урахуванням таких факторів:

- 1) низький рівень шуму;
- 2) можливість регулювати частотну характеристику;
- 3) компактність і доступність елементів;
- 4) можливість ручного монтажу з урахуванням обмеженого бюджету.

Для побудови слухового апарату знадобляться мікрофонний модуль, малопотужний підсилювач, блок живлення, аудіороз'єм, перемикач для вмикання і вимикання живлення пристрою, пасивні елементи для формування RC-фільтра.

### 3.2 Вибір мікрофонного модуля

Для захоплення звукового сигналу в конструкції бюджетного слухового апарату обрано мікрофонний модуль MAX4466 з підсиленням, розроблений на основі високоякісного низькошумного операційного підсилювача компанії Maxim Integrated. Цей модуль дозволяє забезпечити необхідний рівень чутливості для роботи в слуховому апараті, зберігаючи при цьому компактні розміри, мінімальне енергоспоживання та простоту інтеграції в схему.

Основні характеристики:

Мікрофон: мікрофон з чутливістю близько  $-44 \text{ дБ} \pm 2 \text{ дБ}$  [29];

Рівень власного шуму близько  $30 \text{ дБ SPL}$  [30];

Підсилювач: MAX4466 – малошумний ОУ(операційний підсилювач з внутрішнім фільтром);

Напруга живлення:  $2,4\text{--}5,5 \text{ В}$  (оптимально –  $3,3$  або  $5 \text{ В}$ );

Споживаний струм: приблизно  $0,24 \text{ мА}$  при живленні  $3,3 \text{ В}$ ;

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		36

Розміри плати: 20 мм × 15 мм, що дозволяє легко інтегрувати її в корпус пристрою;

Форма сигналу на виході: аналоговий сигнал, який може подаватися безпосередньо на аудіопідсилювач або фільтруючий каскад;

Призначення: Аудіо — попередній підсилювач для мікрофона;

Виробник: Adafruit Industries LLC [31].

Переваги використання MAX4466:

**Низький рівень шуму:** завдяки застосуванню ОУ MAX4466, модуль має власний рівень шуму близько до 30 мкВ RMS, що дозволяє зберігати чіткість і розбірливість мови навіть при слабких сигналах.

**Регулювання підсилення:** Інтегрований змінний резистор дозволяє швидко підібрати оптимальну чутливість без додаткових зовнішніх компонентів.

**Компактність:** Завдяки невеликим розмірам і зручному розташуванню контактів, модуль легко впаюється або під'єднується до плати ручним монтажем.

**Сумісність із низькою напругою живлення:** Живлення від 3 В дозволяє підключати модуль безпосередньо до батареї типу CR2032.

**Цінова доступність:** У порівнянні з цифровими мікрофонами, MAX4466 дешевший і не потребує складної обробки сигналу або мікроконтролера.

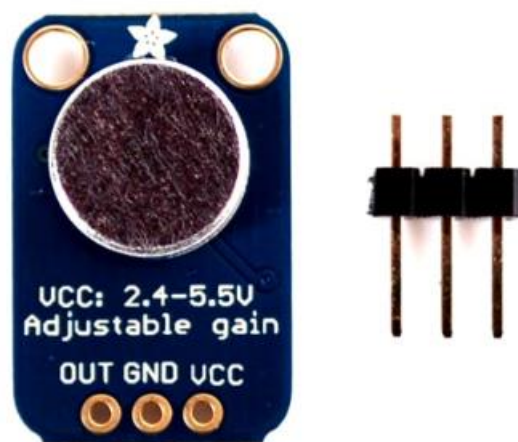


Рисунок 3.1 – Мікрофонний модуль MAX4466 з підсилювачем[32]

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата					

Мікрофон МАХ4466 має значно простішу інтеграцію в аналогову схему без потреби в процесорі або аналого-цифровому перетворенні. Крім того, вбудований регулятор підсилення дозволяє адаптувати модуль до різних рівнів звуку, наприклад, при гучному середовищі або навпаки — в умовах приглушених звуків. Це робить його оптимальним вибором для простих, але функціональних пристроїв типу LoCHaId.

### **3.3 Вибір малопотужного підсилювача**

Підсилювач РАМ8302А є цифровим класу D моноканальним аудіопідсилювачем. Цей мікрочіп дозволяє ефективно посилювати аудіосигнали для живлення динаміків із низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним вибором для портативних пристроїв, включаючи бюджетні слухові апарати.

Його ключовою перевагою є висока енергоефективність, низький рівень шуму, компактність, відсутність необхідності у зовнішньому тепловідведенні та простота інтеграції з мікрофонним трактом.

Основні характеристики:

Тип підсилювача: Клас D, монофонічний;

Вихідна потужність: 2,5 Вт при 4 Ом навантаженні та 5 В живленні;

Діапазон живлення: від 2,0 В до 5,5 В;

Споживання струму в режимі очікування: менше 1 мкА;

Інтегрований захист: від перегріву та короткого замикання;

Діапазон частот - 20 Гц – 20 кГц;

Робоча температура - - 40 °С до + 85 °С

Кількість каналів / Тип виходу 1-канальний (моно) [33].



Рисунок 3.2 – Малопотужний підсилювач RAM8302A [34]

RAM8302 ідеально відповідає вимогам проекту бюджетного слухового апарата завдяки:

низькому енергоспоживанню, що дозволяє тривалу роботу від компактних джерел живлення;

невеликим розмірам — зручно для компактної плати;

достатній потужності для навушників або мініатюрного динаміка;

простоті підключення та доступності (у вигляді модулів Adafruit або окремого чіпа).

### 3.4 Вибір блоку живлення

#### 3.4.1 Тримач для батарейки типу CR2032

Тримач для батарейки типу CR2032 — це компактний конструктивний елемент, призначений для надійного та зручного розміщення літєвої монетної батареї діаметром 20 мм і товщиною 3,2 мм. Такий елемент широко застосовується в портативній електроніці, зокрема в пристроях з низьким енергоспоживанням — годинниках, медичних приладах зокрема слухових апаратах.

Для реалізації проекту бюджетного слухового апарату на базі платформи LoSHaId було обрано саме монтажний тримач COINCELL, оскільки він

дозволяє швидко встановлювати або замінювати батарейку без пайки, що важливо з точки зору обслуговування та повторного використання пристрою.



Рисунок 3.3 – Тримач для батарейки типу CR2032 [35]

Основні характеристики:

Тип виробу: Адаптер, Breakout Board;

Тип плати: Перехідник з роз'єму під батарейку в DIP-формат;

Виробник: Adafruit Industries LLC;

Сумісний корпус: Батарейка CR2032 (літієва, тип "монета");

Кількість позицій: 4 (виводи/контакти);

Крок виводів: 2,54 мм;

Товщина плати: 1,52 мм;

Розміри плати: 22,86 мм × 27,94 мм [36].

### 3.4.2 Батарейка типу CR2032

CR2032 — це 3-вольтова літієва батарейка, яка здатна забезпечити стабільне живлення для малопотужних схем протягом тривалого часу. Середня ємність батареї становить 260 мА·год, що дозволяє слуховому апарату працювати десятки годин при типовому споживанні струму мікрофонного підсилювача та підсилювача класу D на рівні до 10 мА.

Оскільки конструкція слухового апарату повинна бути компактною, зручною в обслуговуванні та енергозберігаючою, CR2032 у поєднанні з якісним тримачем є цілком обґрунтованим вибором. До того ж, завдяки

стабільній вихідній напрузі 3 В, батарейка напряму сумісна з більшістю цифрових та аналогових компонентів, використаних у схемі.



Рисунок 3.4 – Батарейка типу CR2032 [37]

Основні характеристики:

Тип батареї: Літієва батарея;

Форм-фактор: Монета (Coin), Ø 20 мм;

Виробник: Renata Batteries;

Серія: CR2032;

Номінальна напруга: 3 В;

Ємність 260 мА·год;

Розміри: 20,0 мм діаметр × 3,2 мм висота [38].

### 3.5 Вибір аудіороз'єму

Аудіороз'єм SJ1-3555NG — це 3,5-мм стерео гніздо, призначене для підключення навушників, гарнітур або інших аналогових аудіопристроїв. У конструкції бюджетного слухового апарату він виконує функцію вихідного інтерфейсу, через який підсилений сигнал подається на навушники користувача.

Цей тип роз'єма є загальновизнаним стандартом у портативній аудіотехніці, що забезпечує високу сумісність та зручність у використанні. Роз'єм можна надійно закріпити на корпусі пристрою, забезпечуючи механічну стійкість при багаторазовому підключенні та відключенні навушників.

Основні характеристики:

Тип роз'єму: Аудіо-роз'єм;

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата					

Форм-фактор: Гніздо (female), 3,5 мм (TRS – стерео, 3 провідники);  
Кількість контактів: 3 провідники (Stereo TRS), 5 контактів;  
Перемикачі всередині: 2 вбудовані перемикачі;  
Сумісний штекер: 3,5 мм — mini-jack (напр., навушники);  
Фактичний діаметр: 3,60 мм;  
Тип монтажу: Вивідний, кутовий;  
Тип виводів: Kinked Pin (зігнуті контакти);  
Номінальна напруга: 12 В постійного струму (DC);  
Номінальний струм: 1 А;  
Робочий температурний діапазон: від – 25 °С до + 85 °С;  
Довжина занурення штекера: 14,00 мм;  
Матеріал контактів: Латунь та мідний сплав, покриття — олово [39].



Рисунок 3.5 – Аудіороз’єм SJ1-3555NG [40]

Серед численних аналогів було обрано SJ1-3555NG завдяки його:

простоті інтеграції в компактний пристрій;

стабільній якості контакту при багаторазовому підключенні;

сумісності з масовими навушниками, що не потребують перехідників або нестандартного підключення.

Це дозволяє забезпечити сумісність слухового апарату з типовими користувацькими пристроями без втрати якості аудіосигналу, водночас дотримуючись вимог низької вартості та простоти конструкції.

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		42

### 3.6 Вибір перемикача

У конструкції бюджетного слухового апарату перемикач OS102011MA1QN1 виконує функцію ввімкнення та вимкнення живлення пристрою. Він є критично важливим для енергозбереження, зручності користування та безпечної експлуатації.

Перемикач обраний з урахуванням компактних розмірів, надійної механіки, низького енергоспоживання та простоти інтеграції в друковану плату. Завдяки SPDT-конфігурації (однопольосний, двопозиційний), цей елемент дозволяє ефективно розривати або з'єднувати коло живлення без потреби в складних схемах керування.

Основні характеристики:

Тип перемикача: Слайд-перемикач (Slide Switch);

Виробник: C&K;

Серія: OS;

Схема перемикання: SPDT — один полюс, два положення;

Функція перемикача: On-On (перемикання між двома станами);

Номінальний струм: 100 мА;

Номінальна напруга: 12 В;

Довжина актуатора: 4,00 мм;

Хід перемикача: 2,00 мм;

Тип монтажу: Вивідний, під кутом;

Температурний діапазон: від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Базовий номер виробу: OS102011 [41].

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		43

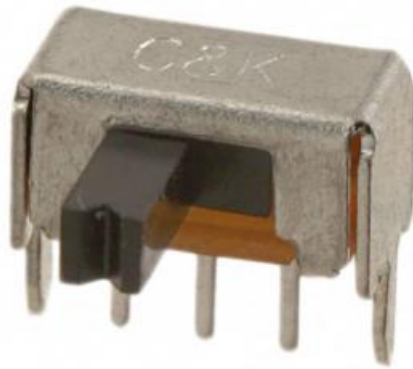


Рисунок 3.6 – Перемикач OS102011MA1QN1 [42]

### 3.7 Вибір пасивних елементів

#### 3.7.1 Вибір регулятора гучності

Потенціометр 3352Т-1-102LF використовується в схемі слухового апарата як регулятор гучності. Завдяки змінному опору він дозволяє користувачеві плавно налаштувати рівень звукового сигналу відповідно до індивідуальних потреб.

Вибір цього потенціометра обумовлений його компактністю, надійністю, можливістю точного регулювання та доступністю для ручного монтажу. Компонент повністю відповідає вимогам до бюджетного та енергоефективного пристрою, а також легко інтегрується в аналогові аудіоланцюги.

Основні характеристики:

Тип: Тример (Thumbwheel Potentiometer);

Виробник: Bourns Inc.;

Серія: Trimpot 3352 — відкритий корпус;

Базовий номер виробу: 3352Т;

Номінальний опір: 1 кОм;

Допуск:  $\pm 20\%$ ;

Потужність розсіювання: 0,5 Вт (1/2 Вт);

Тип монтажу: Вивідний (Through Hole);

Габарити:  $\varnothing 8,89 \text{ мм} \times 3,81 \text{ мм}$  [43].

										Лист
										44
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	PI11.266012.001 ПЗ					



Рисунок 3.7 – Регулятор гучності 3352Т-1-102LF [44]

### 3.7.2 Вибір регулятора частоти зрізу у фільтрі

Потенціометр 3352Т-1-503LF використовується для налаштування частоти зрізу RC-фільтра у слуховому апараті. Це дозволяє користувачеві змінювати амплітудно-частотну характеристику пристрою для покращення сприйняття мови в різних умовах.

Цей компонент поєднує точність регулювання, стабільність, невеликі габарити та простоту інтеграції в аналогові кола. Застосування потенціометра з номіналом 50 кОм дає змогу задавати оптимальні параметри фільтрації для зменшення впливу небажаних частот. Він придатний для ручного монтажу, що важливо у бюджетному пристрої.

Основні характеристики:

Тип: Триммер (Thumbwheel Potentiometer);

Виробник: Bourns Inc.;

Серія: Trimpot® 3352 — відкритий корпус;

Базовий номер виробу: 3352Т;

Номінальний опір: 50 кОм;

Допуск:  $\pm 20\%$ ;

Потужність розсіювання: 0,5 Вт (1/2 Вт);

Тип монтажу: Вивідний;

Габарити:  $\varnothing 8,89 \text{ мм} \times 3,81 \text{ мм}$  [45].

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		45

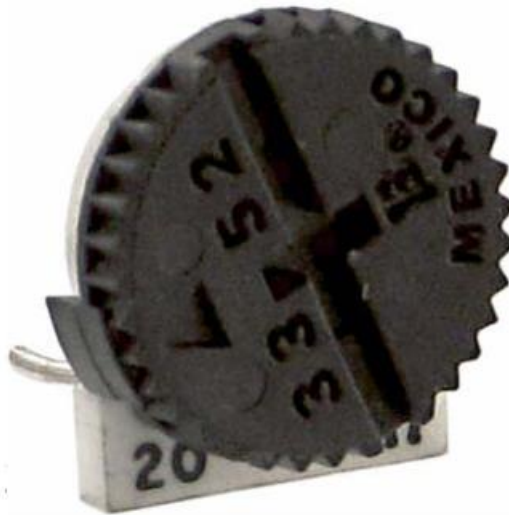


Рисунок 3.8 – Регулятор частоти зрізу у фільтрі 3352Т-1-503LF [46]

### 3.7.3 Вибір резисторів для зменшення шуму

Резистори R1 і R3 CFM14JT22K0 використовуються як pull-down резистори, що забезпечують стабільний нульовий потенціал на входах, до яких вони підключені. Це дозволяє:

гасити залишкові сигнали або шуми з «плаваючих» вузлів схеми;

запобігати фоновому шуму або самозбудженню мікрофонного підсилювача MAX4466;

виконувати роль частини RC-фільтра в комбінації з конденсаторами (зокрема C3 і C4), забезпечуючи очищення сигналу перед підсиленням.

Основні характеристики резистора:

Тип: Вивідний резистор;

Виробник: Stackpole Electronics Inc;

Серія: CFM;

Опір: 22 кОм;

Допуск:  $\pm 5\%$ ;

Потужність: 0,25 Вт (1/4 Вт);

Робочий температурний діапазон: від  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Кількість виводів: 2;

Габарити: 1,70 мм (діаметр)  $\times$  3,30 мм (довжина) [47].



Рисунок 3.9 – Резистори для зменшення шуму CFM14JT22K0 [48]

### 3.7.4 Вибір конденсаторів

У контексті схеми бюджетного слухового апарата на базі LoSNAid, ці конденсатори СК45-R3AD102K-VRA виконують наступні важливі функції:

C1 – використовується як конденсатор розв’язки або декуплінгу на лінії живлення мікрофонного підсилювача MAX4466. Його основна роль — згладжування шумів, імпульсних завад і стабілізація локального живлення модуля.

C3 – додатково стабілізує напругу після резистора R1 (який є частиною RC-ланцюга), що важливо для надійного живлення аналогових компонентів у разі живлення від батареї.

C2 – виконує функцію частини RC-фільтра нижніх частот у парі з потенціометром R2. Завдяки цьому, він:

- обмежує високочастотні складові сигналу, зменшуючи шум і потенційні спотворення;
- формує частоту зрізу, яка регулюється через опір потенціометра;
- покращує розбірливість мови за рахунок пригнічення непотрібних високочастотних домішок.

Основні характеристики:

Категорія: Керамічний конденсатор;

Виробник: TDK Corporation;

Серія: СК45-RR;

Ємність: 1000 пФ (1 нФ);

Допуск:  $\pm 10\%$ ;

Номінальна напруга: 1000 В (1 кВ);

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		47

Температурний діапазон: від  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Застосування: Загального призначення;

Тип монтажу: Вивідний;

Корпус / Форм-фактор: Радіальний, дисковий;

Відстань між виводами: 5,00 мм;

Діаметр корпусу: 9,00 мм;

Висота (макс.): 13,00 мм;

Форма виводів: Зігнуті [49].



Рисунок 3.10 – Конденсатор СК45-R3AD102K-VRA [50]

C4 - з'єднувальний (розв'язувальний) конденсатор UKL1E150MDD1TD між каскадами – між попереднім мікрофоном (МАХ4466) і основним підсилювачем (РАМ8302).

Основні функції C4 у схемі:

Блокує постійну напругу, яка може бути присутня на виході МАХ4466, щоб вона не потрапила на вхід РАМ8302.

Пропускає змінну складову сигналу, тобто саме аудіосигнал.

Забезпечує безпечну та якісну передачу сигналу між каскадами без зміщення рівня напруги.

Захищає вхід А+ РАМ8302 від потенційно шкідливої DC-компоненти.

Основні характеристики:

Категорія: Електролітичний алюмінієвий конденсатор;

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		48

Виробник: Nichicon;  
 Серія: UKL;  
 Ємність: 15 мкФ;  
 Допуск:  $\pm 20\%$ ;  
 Номінальна напруга: 25 В;  
 Термін служби: 2000 годин при 85°C;  
 Температурний діапазон: від - 40 °C до + 85 °C;  
 Полярність: Полярний;  
 Призначення: Загального призначення;  
 Тип монтажу: Вивідний (Through Hole);  
 Форм-фактор / Корпус: Радіальний, циліндричний;  
 Відстань між виводами: 2,50 мм;  
 Діаметр корпусу: 5,00 мм;  
 Висота (макс.): 12,50 мм [51].



Рисунок 3.11 – Конденсатор UKL1E150MDD1TD [52]

C5 – конденсатор UPJ1H010MDD1TD:

Фільтрує високочастотні завади, які можуть виникати при вмиканні або вимиканні живлення;

Покращує стабільність напруги живлення біля перемикача;

Зменшує пульсації та шум, які можуть негативно вплинути на аналогові компоненти.

Основні характеристики:

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		49

Категорія: Алюмінієві електролітичні конденсатори;  
Виробник: Nichicon;  
Серія: UPJ;  
Ємність: 1 мкФ;  
Допуск:  $\pm 20\%$ ;  
Номинальна напруга: 50 В;  
Полярність: Полярний;  
Робочий температурний діапазон: від  $- 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+ 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
Тип монтажу: Вивідний;  
Корпус / Форм-фактор: Радіальний, циліндричний;  
Відстань між виводами: 2,50 мм;  
Діаметр корпусу: 5,00 мм;  
Висота (макс.): 12,00 мм [54].



Рисунок 3.12 – Конденсатор UPJ1H010MDD1TD [54]

**Висновки до розділу 3.** Було підібрано основні складові: (компоненти для мікрофонного модуль, малопотужний підсилювач, блок живлення, аудіороз'єм, перемикач для вмикання і вимикання живлення пристрою, пасивні елементи для формування RC-фільтра).

					<i>P111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		50

## 4 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

Визначившись з компонентами для розроблення слухового апарату, спроектуємо електричний модуль. А саме: визначимо метод виготовлення плати, оберемо матеріал плати та вид припою, оберемо клас точності плати та щільності виробництва, розрахуємо діаметр монтажних отворів та розміри контактних майданчиків, розрахуємо габарити та параметри друкованого монтажу, та зробимо трасування плати.

### 4.1 Метод виготовлення плати

Схема слухового апарату, що розробляється в рамках цього проєкту, містить 15 вивідних електронних компонентів. У зв'язку з невеликою кількістю елементів та відсутністю компонентів поверхневого монтажу, доцільно використовувати односторонню друковану плату з металізованих отворів. Для виготовлення плати оптимальним є застосування позитивного фоторезистного методу, що забезпечує необхідну точність малюнка провідників. Монтаж компонентів на плату виконується методом ручного пайкового з'єднання, що дозволяє отримати надійний і нероз'ємний електричний контакт між елементами та провідниками плати.

### 4.2 Вибір матеріалу плати та обґрунтування вибору припою

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR-4. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір.

З міркувань оптимального співвідношення температури плавлення та міцності, доступності, низької ціни було обрано припій LC60.

### 4.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва

Оскільки схема слухового апарату має невелику кількість вивідних компонентів (15 штук) і характеризується низькою щільністю розміщення елементів на друкованій платі, немає потреби у застосуванні високих класів точності виготовлення. Для даного пристрою достатньо обрати 2 клас точності. Такий клас забезпечує необхідну якість виготовлення провідників, отворів та

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		51

контактних площадок при невисокій складності плати й ручному монтажі компонентів.

#### 4.4 Розрахунок діаметра монтажних отворів та розмірів контактних майданчиків

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$D_o = D_v + 0,2,$$

де  $D_o$  — розміри отворів для вивідних елементів, а  $D_v$  — розміри виводів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + \frac{2}{3}D_o$$

Отримані значення наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Розміри для вивідних елементів

Назва елемента	$D_v$	$D_o$	$D_k$
Мікрофонний підсилювач (U1)	0,64мм	0,84мм	1,4мм
Малопотужний підсилювач (U2)	0,64мм	0,84мм	1,4мм
COINCELL	0,6мм	0,8мм	1,3мм
Перемикач(S1)	0,8мм	1мм	1,6мм
Аудіороз'єм(J1)	1,5мм	1,7мм	2,83мм
Резистор(R1, R3)	0,4мм	0,6мм	1мм
Резистори(R2, R4)	0,5мм	0,7мм	1,2мм
Конденсатори(C1,C2,C3)	0,6мм	0,8мм	1,3мм
Конденсатор(C4)	0,6мм	0,8мм	1,3мм
Конденсатор(C5)	0,6мм	0,8мм	1,3мм

#### 4.5 Робота в програмному забезпеченні Altium Designer

В даному редакторі створюємо попередній вигляд друкованої плати, розміщуємо елементи на платі, а також проводимо трасування.

##### 4.5.1 Визначення габаритів та параметрів друкованого монтажу

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що ві-дповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони, тобто елементів поверхневого монтажу та вивідних елементів окремо. Тож розрахуємо площу всіх елементів (табл. 4.2).

Площа розраховується за формулою:

$$S = \sum skn,$$

де  $s$  – площа елемента,  $k$  — коефіцієнт що залежить від розміру елемента,  $n$  – кількість елементів.

Таблиця 4.2 — Розрахунок площі плати

Назва елемента	n	k	s	S	S-плати
Мікрофонний підсилювач (U1)	1	1,3	287мм <sup>2</sup>	373,2мм <sup>2</sup>	2429,2мм <sup>2</sup>
Малопотужний підсилювач (U2)	1	1,3	360мм <sup>2</sup>	468мм <sup>2</sup>	
COINCELL	1	1,3	638,7мм <sup>2</sup>	830,3мм <sup>2</sup>	
Перемикач(S1)	1	1,5	37мм <sup>2</sup>	55,5мм <sup>2</sup>	
Аудіороз'єм(J1)	1	1,5	120мм <sup>2</sup>	180мм <sup>2</sup>	
Резистор(R1, R3)	2	1,15	5,6мм <sup>2</sup>	12,9мм <sup>2</sup>	
Резистори(R2, R4)	2	1,15	33,9мм <sup>2</sup>	78мм <sup>2</sup>	
Конденсатори(C1,C2,C3)	3	1,15	117мм <sup>2</sup>	403,7мм <sup>2</sup>	
Конденсатор(C4)	1	1,1	12,5мм <sup>2</sup>	13,8мм <sup>2</sup>	
Конденсатор(C5)	1	1,1	12,5мм <sup>2</sup>	13,8мм <sup>2</sup>	

З таблиці 4.2 отримаємо, що площа плати — 2430 мм<sup>2</sup>. Загальна оптимальна площа плати — 4582 мм<sup>2</sup>. Це зроблено для того, щоб умови збору плати були легшими.

#### 4.5.2 Трасування провідників

Порахувавши всі параметри плати та монтажу елементів. Розробивши друковану плату в редакторі РСВ проведемо трасування, тобто створимо доріжки. Результати трасування у верхньому шарі наведено на рисунку 4.1, у нижньому шарі — на рисунку 4.2.

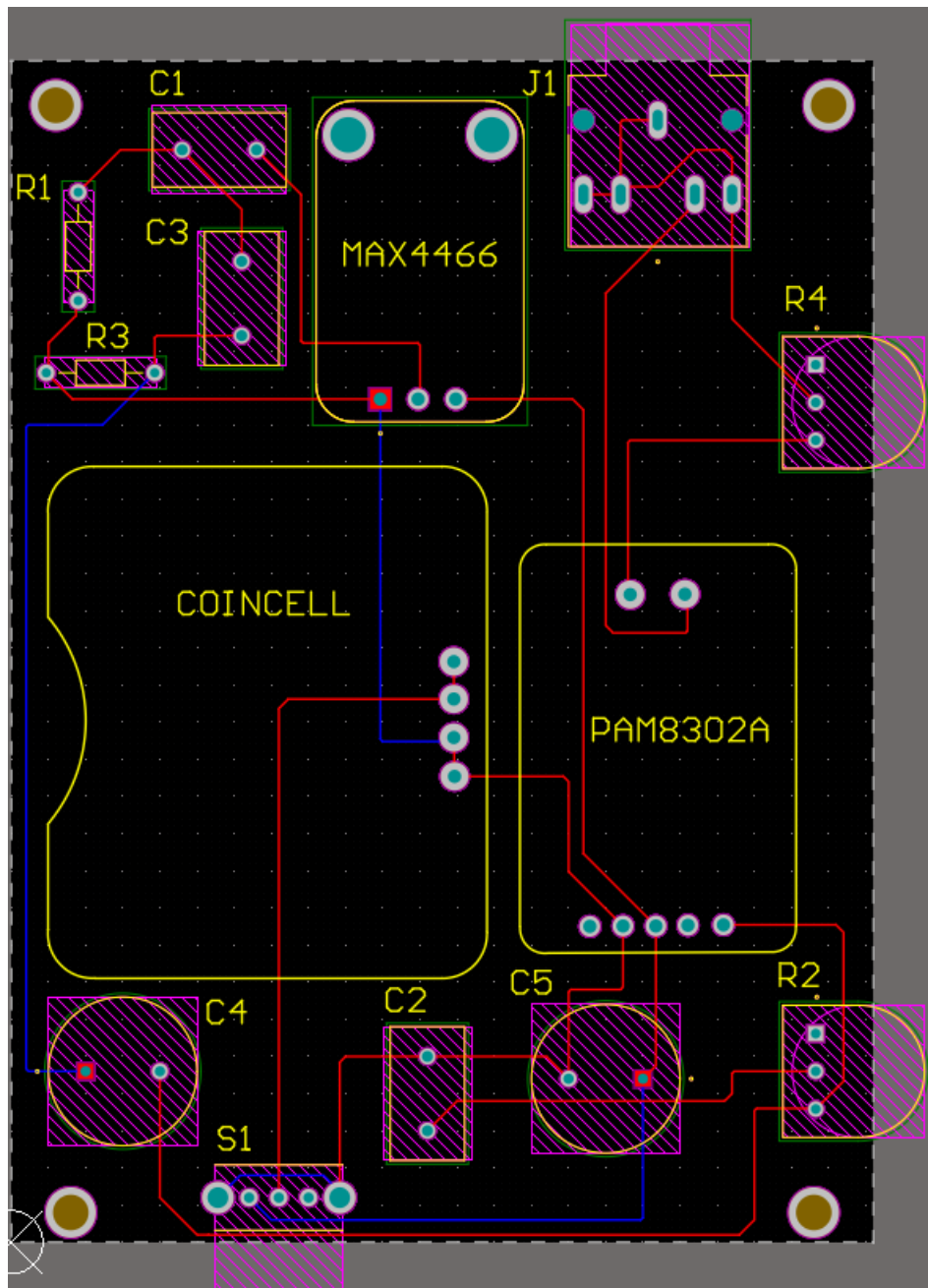


Рисунок 4.1 — Верхній шар трасування

Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата

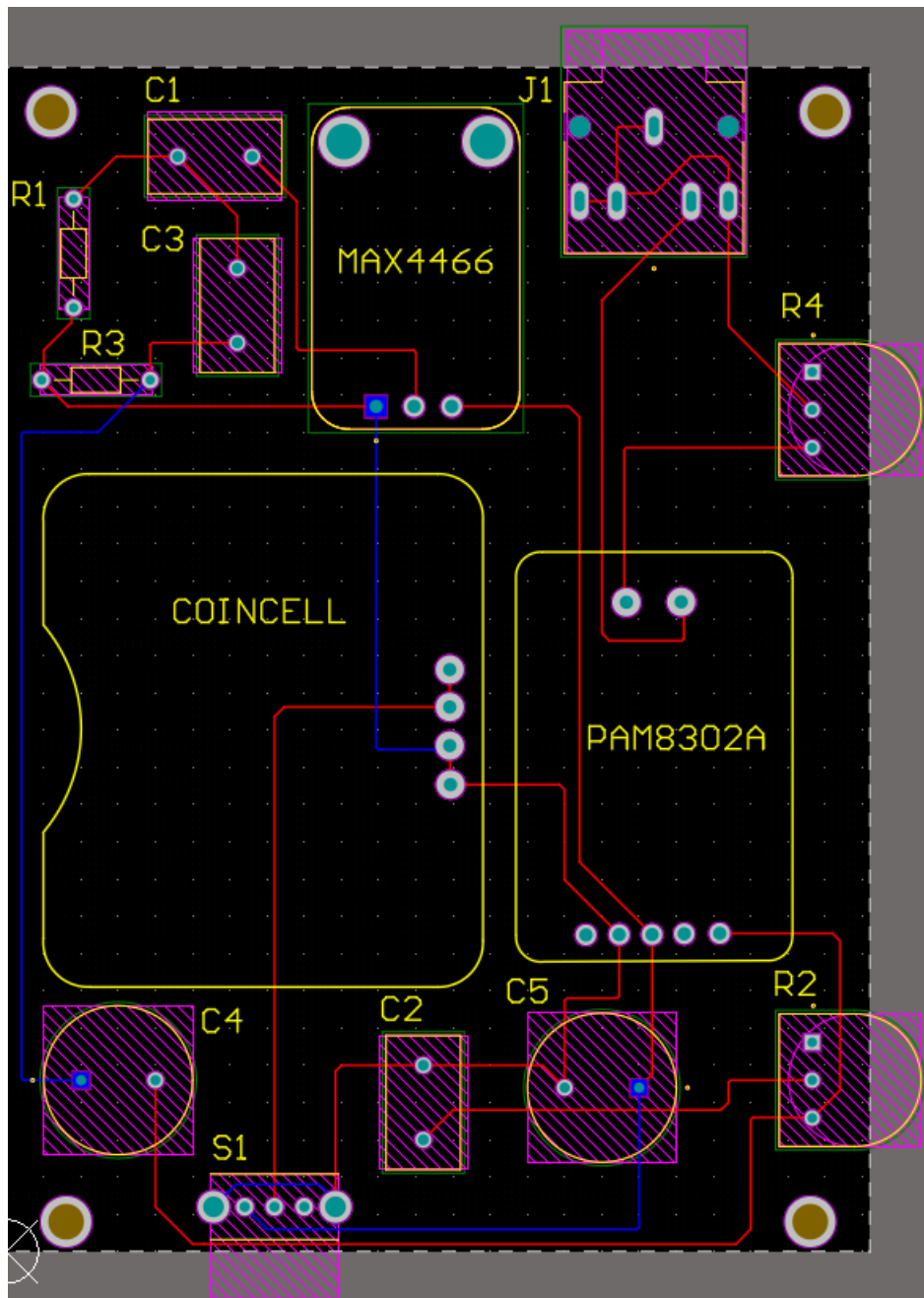


Рисунок 4.2 — Нижній шар трасування

**Висновки до розділу 4.** В цьому розділі було підібрано матеріал плати, клас її точності, методом виготовлення, припій для пайки, розрахований монтаж компонентів, виконане трасування плати.

Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата

## 5 ПРОЄКТУВАННЯ ПРИЛАДУ

Корпус слухового апарату (рис. 5.1) був розроблений в програмному забезпеченні SolidWorks 2023. В корпусі розташована плата на платі є місце для блока живлення. Конструкція деталей корпусу слухового апарату є максимально простою за конфігурацією та має вигляд як на рисунку 5.2, щоб полегшити виготовлення деталей. Для перемикача, який відповідає за вмикання і вимикання живлення пристрою, для регуляторів звуку і частотної характеристики в корпусі зроблені спеціальні вирізи. Також є отвір для аудіороз'єму, щоб увімкнути навушники.

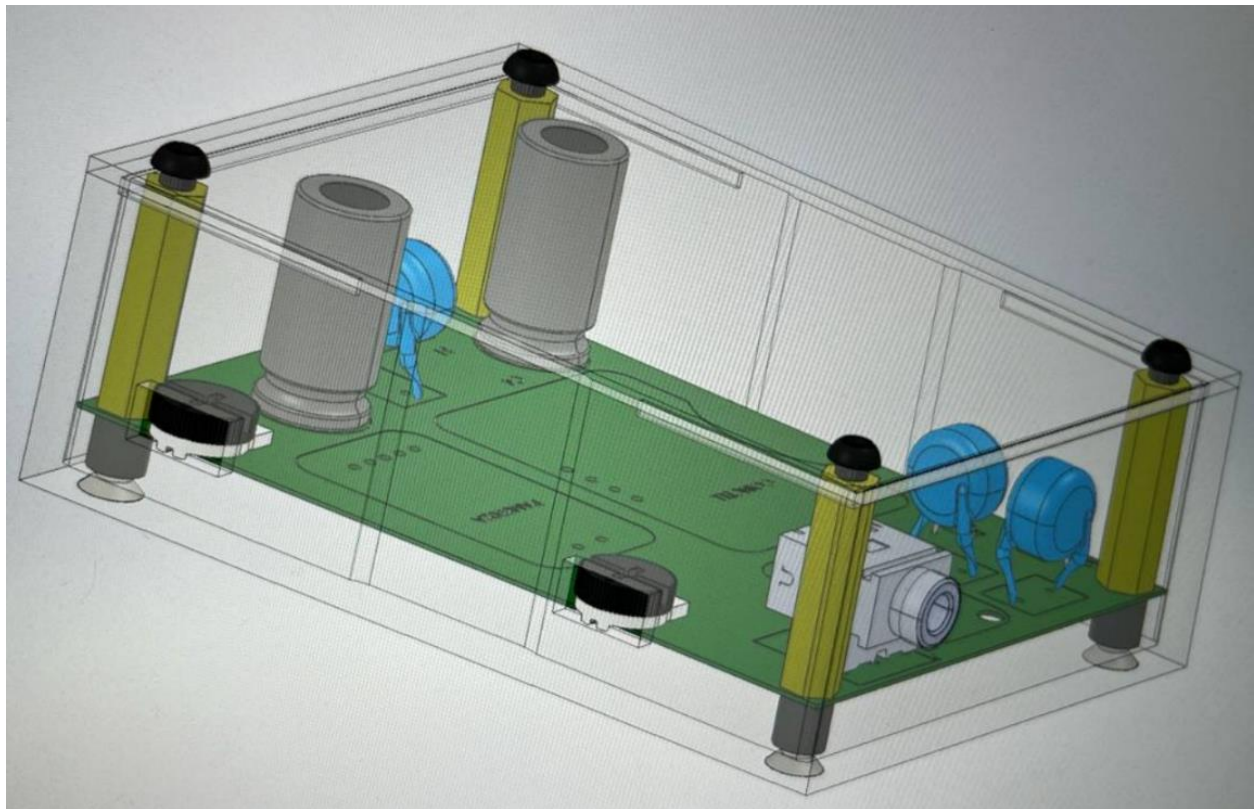


Рисунок 5.1 — Корпус слухового апарату

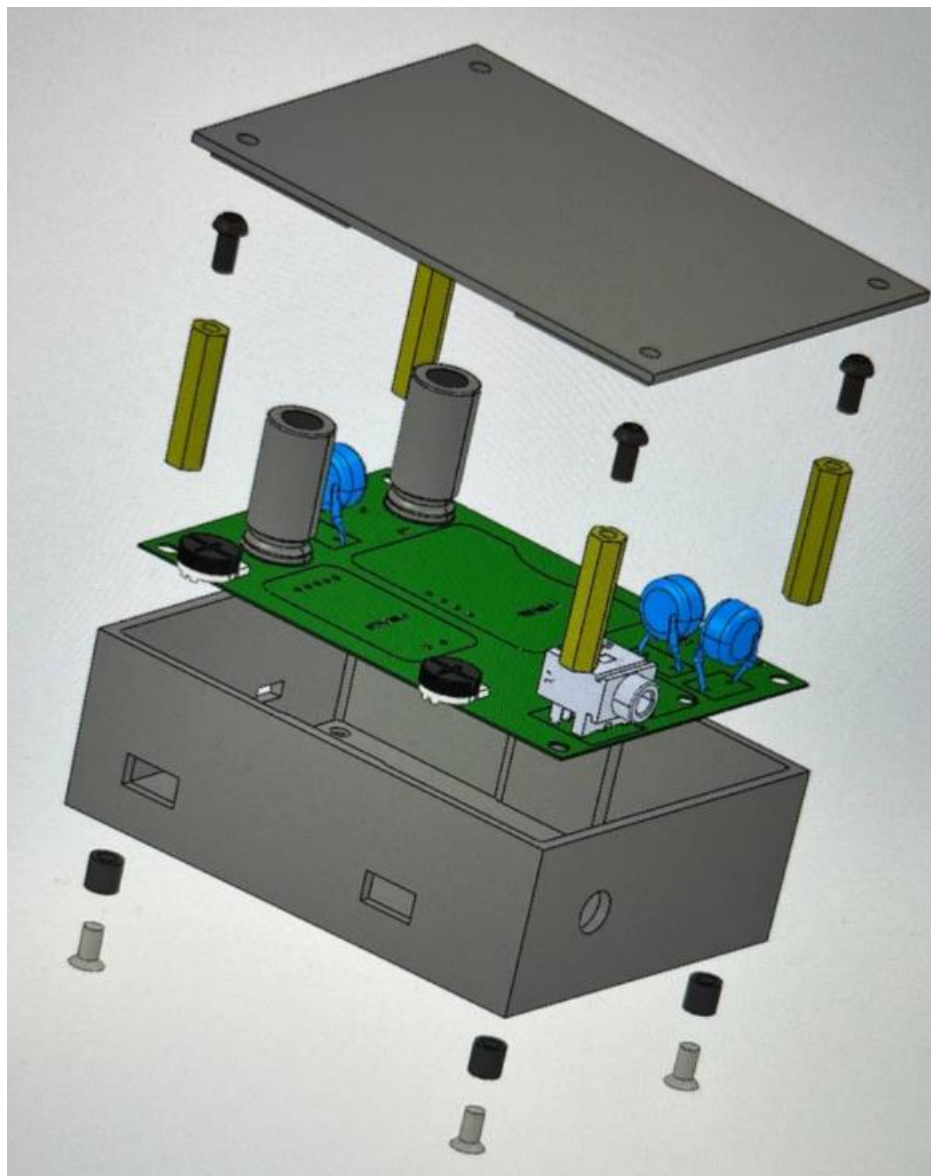


Рисунок 5.2 — Конструкція деталей корпусу слухового апарату

Корпус контролера та захисний бокс планується бути виготовленим з пластику типу – ABS методом 3D-друку. Складається корпус з двох частин: верхня та нижня. Плата встановлюється в корпус, між платою та корпусом гумові проставки по 5мм. Жовті шестигранники ставляться на плату до цих шестигранників фіксуємо плату гвинтами м3. Кришку верхню також фіксуємо гвинтами м3 до жовтих шестигранників. Отже, плата зафіксована в корпусі знизу гумовими проставками, зверху її притискають шестигранники.

На основі базової електричної принципової схеми LoSNAid було розроблено дослідницький зразок слухового апарату, який зображений на рис. 5.3 і рис. 5.4 До дослідницького зразка буде проведено дослідницьку роботу.

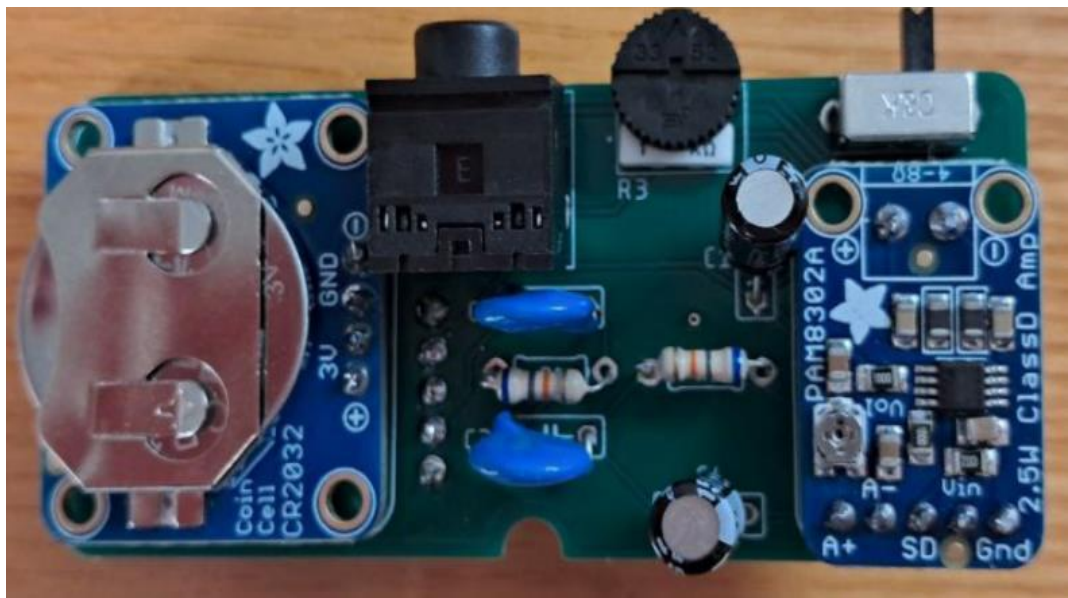


Рисунок 5.3 — Перша сторона дослідницького зразка

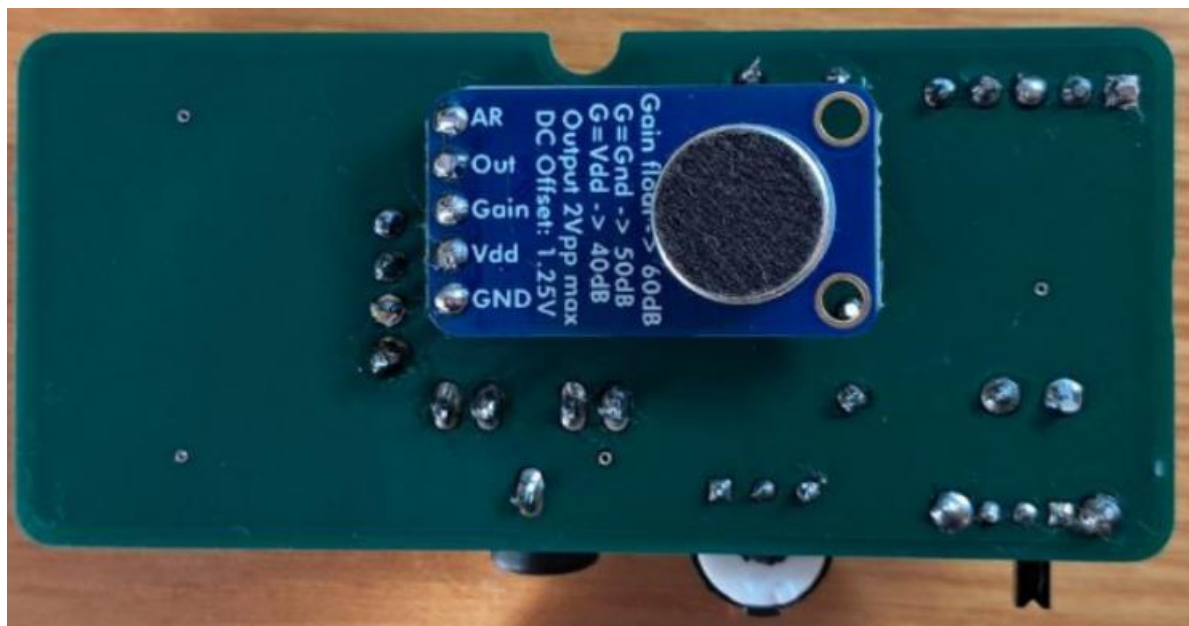


Рисунок 5.4— Друга сторона дослідницького зразка

**Висновки до розділу 5.** В цьому розділі було зроблено корпус слухового апарату в програмному забезпеченні SolidWorks 2023. Також на основі базової електричної принципової схеми LoCHAid було розроблено дослідницький зразок слухового апарата.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту було досліджено та вдосконалено бюджетний слуховий апарат на базі відкритої платформи LoSNAid з метою підвищення його функціональності, якості звуку та адаптивності до індивідуальних потреб користувача.

Було реалізовано низку технічних рішень, спрямованих на досягнення поставленої мети:

Знижено рівень еквівалентного власного шуму (EIN) з попереднього значення ~40 дБ SPL до оптимального діапазону 27–34,5 дБ SPL, що наближає пристрій до параметрів комерційних аналогів та покращує сприйняття мовного сигналу в умовах фонових шумів.

Реалізовано налаштування частотної характеристики слухового апарата. Це забезпечує можливість індивідуального налаштування під користувача відповідно до особливостей втрати слуху в діапазоні 2–8 кГц, який є критичним для сприйняття мови.

Удосконалено конструкцію пристрою, що дало змогу спростити процес збірки, зменшити ймовірність помилок при монтажі та підвищити надійність експлуатації. Було досягнуто компактних габаритів — 7.95см×5.8 см, що відповідає сучасним вимогам до носимих пристроїв.

Таким чином, результати проєкту демонструють, що навіть на базі наддешевої платформи, такої як LoSNAid, можливо створити повноцінний слуховий апарат із покращеними характеристиками. Це відкриває шлях до ширшого використання бюджетних рішень у сфері слухопротезування, зокрема у регіонах із обмеженим доступом до традиційних медичних пристроїв.

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата						

*PI11.266012.001 ПЗ*



10. Слухові апарати – лекція [Електронний ресурс] // Житомирська політехніка. – Режим доступу до ресурсу: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/321096/mod\\_resource/content/1/лекція%20слухові%20апарати.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/321096/mod_resource/content/1/лекція%20слухові%20апарати.pdf)

11. Oticon Own – слуховий апарат [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/oticon-own>

12. Oticon Real – слуховий апарат [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/oticon-real>

13. Oticon Intent – слуховий апарат [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/oticon-intent>

14. Слуховий апарат Oticon Own 1 CIC [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-oticon-own-1-cic.htm>

15. Слуховий апарат Oticon Real 1 miniBTE R [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-oticon-real-1-minibte-r.htm>

16. Слуховий апарат Oticon Intent 3 miniRITE [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-oticon-intent-3-minirite.htm>

17. Слухові апарати Signia [Електронний ресурс] // ВДІ. – Режим доступу до ресурсу: <https://vdy.com.ua/ua/signia-sluhovye-apparaty>

18. Слуховий апарат Signia Active Pro [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-signia-active-pro.htm>

19. Слуховий апарат Signia Pure Charge&Go 5 IX [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-signia-pure-charge-go-5-ix.htm>

					<i>Р111.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		61

20. Слуховий апарат Signia Styletto 7AX [Електронний ресурс] // Євротон Слух. – Режим доступу до ресурсу: <https://evrotonsluh.com.ua/ua/sluhovye-apparaty/sluhovoi-apparat-signia-styletto-7ax-augmented-xperience.htm>

21. Development of LoCHAid, an ultra-low-cost hearing aid [Електронний ресурс] // ncbi.nlm.nih.gov. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7510997/>

22. MAX9814 Microphone Amplifier with AGC [Електронний ресурс] // Adafruit. – Режим доступу до ресурсу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX9814.pdf>

23. Васюра В. С. Інформаційно-радіовимірювальні системи [Електронний ресурс] / В. С. Васюра. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 197 с. – Режим доступу до ресурсу: [https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Vasura\\_2018\\_197.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Vasura_2018_197.pdf)

24. LoCHAid – ultra-low-cost hearing aid [Електронний ресурс] // github.com. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/bhamla-lab/LoCHAid-2020-PLOS-ONE>

25. Johnson–Nyquist noise [Електронний ресурс] // Wikipedia. – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%E2%80%93Nyquist_noise)

26. Adafruit Mono 2.5W Class D Audio Amplifier – PAM8302 [Електронний ресурс] // Kiwi Electronics. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kiwi-electronics.com/en/adafruit-mono-2-5w-class-d-audio-amplifier-pam8302-2421>

27. ДСТУ ІЕС 60050-131:2006 (частина 3) [Електронний ресурс] // ДП «УкрНДНЦ». – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/3/22/3-22-b3/part3/part3.html>

28. Частота зрізу [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Частота\\_зрізу](https://uk.wikipedia.org/wiki/Частота_зрізу)

29. Calculating Decibels (SPL) from MAX4466 Microphone Input [Електронний ресурс] // Arduino Forum. – Режим доступу до ресурсу:

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		62

<https://forum.arduino.cc/t/calculating-decibels-spl-from-max4466-microphone-input/1239394/45?page=3>

30. Static in Mic Input [Электронный ресурс] // PJRC Forum. – Режим доступа до ресурсу: <https://forum.pjrc.com/index.php?threads/static-in-mic-input.65211/>

31. Adafruit 1063 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/adafruit-industries-llc/1063/4990762?s=N4IgtTCBcDaILIEEAaAWFA2dIC6BfIA>.

32. Adafruit 1063 [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.snapeda.com/parts/1063/Adafruit/view-part/?ref=search&t=1063>.

33. Adafruit 2130 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/adafruit-industries-llc/2130/5761279?s=N4IgtTCBcDaIAoEECyAOAzABjAAgIwFYwUBaXAFgE4xiA5AERAF0BfIA>.

34. Adafruit 2130 [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/2130/Adafruit/view-part/?ref=search&t=2130&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/2130/Adafruit/view-part/?ref=search&t=2130&ab_test_case=a).

35. Adafruit 1870 [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/1870/Adafruit%20Industries/view-part/?ref=search&t=1870&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/1870/Adafruit%20Industries/view-part/?ref=search&t=1870&ab_test_case=a).

36. Adafruit 1870 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/adafruit-industries-llc/1870/6827145>.

37. Батарейка CR2032 [Электронный ресурс] // rsccomponents.kiev.ua. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.rsccomponents.kiev.ua/product/batareika-cr2032-litiieva-3v-1sht-eemb\\_116969.html](https://www.rsccomponents.kiev.ua/product/batareika-cr2032-litiieva-3v-1sht-eemb_116969.html).

38. CR2032 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/micropower-battery-company/CR2032/13283150>.

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		63

39. Same Sky SJ1-3555NG [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/same-sky-formerly-cui-devices/SJ1-3555NG/738708?s=N4IgTCBcDaIMoCkCMBaAzAViwOQOIAIBhABVUx1xWwB EQBdAXyA>.

40. Same Sky SJ1-3555NG [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/SJ1-3555NG/Same%20Sky/view-part/?ref=search&t=SJ1-3555NG&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/SJ1-3555NG/Same%20Sky/view-part/?ref=search&t=SJ1-3555NG&ab_test_case=a).

41. C&K OS102011MA1QN1 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/c-k/OS102011MA1QN1/1981430?s=N4IgTCBcDaIPIGUCMAGMKIILIEEkEUA5JA AgGEBpQgTgFZbqBaQgERAF0BfIA>.

42. C&K OS102011MA1QN1 [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/OS102011MA1QN1/C%20%26%20K/view-part/?ref=search&t=OS102011MA1QN1&ab\\_test\\_case=b](https://www.snapeda.com/parts/OS102011MA1QN1/C%20%26%20K/view-part/?ref=search&t=OS102011MA1QN1&ab_test_case=b).

43. Bourns 3352T-1-102LF [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/bourns-inc/3352T-1-102LF/1088340?s=N4IgTCBcDaICoAsCuBbARgdwQU2wGwAIAFAewBcCBGAawIHkEUCAGAOgFYB1AgZh-bBwAtJWZgAMgDEhAOQAiIALoBfIA>.

44. Bourns 3352T-1-102LF [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/3352T-1-102LF/Bourns/view-part/?ref=search&t=3352T-1-102LF&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/3352T-1-102LF/Bourns/view-part/?ref=search&t=3352T-1-102LF&ab_test_case=a).

45. Bourns 3352T-1-503LF [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/bourns-inc/3352T-1-503LF/1088352>.

46. Bourns 3352T-1-503LF [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/3352T-1-503LF/Bourns/view-part/?ref=search&t=3352T-1-503LF&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/3352T-1-503LF/Bourns/view-part/?ref=search&t=3352T-1-503LF&ab_test_case=a).

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		64

47. Stackpole Electronics CFM14JT22K0 [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/stackpole-electronics-inc/CFM14JT22K0/1742143>.

48. Stackpole Electronics CFM14JT22K0 [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/CFM14JT22K0/SEI%20Stackpole%20Electronics/view-part/?ref=search&t=CFM14JT22K0&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/CFM14JT22K0/SEI%20Stackpole%20Electronics/view-part/?ref=search&t=CFM14JT22K0&ab_test_case=a).

49. TDK CK45-R3AD102K-VRA [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/tdk-corporation/CK45-R3AD102K-VRA/4457667?s=N4IgtTCBcDaIAQGECGAHJBjAlgFwPYCc44AWYgVgFoBGAadmIGYb7qKA5AERAF0BfIA>.

50. TDK CK45-R3AD102K-VRA [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/CK45-R3AD102K-VRA/TDK/view-part/?ref=search&t=CK45-R3AD102K-VRA&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/CK45-R3AD102K-VRA/TDK/view-part/?ref=search&t=CK45-R3AD102K-VRA&ab_test_case=a).

51. Nichicon UKL1E150MDD1TD [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/nichicon/UKL1E150MDD1TD/4317978?s=N4IgtTCBcDaIlwFYAEBXAYkgwgQwA7YGMBLAFwHsAnJAFgE4BmAWjgAZqAOW5xgOQBEOAXQC%2BQA>.

52. Nichicon UKL1E150MDD1TD [Электронный ресурс] // snapeda.com. – Режим доступа до ресурсу: [https://www.snapeda.com/parts/UKL1E150MDD1TD/Nichicon/view-part/?ref=search&t=UKL1E150MDD1TD&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/UKL1E150MDD1TD/Nichicon/view-part/?ref=search&t=UKL1E150MDD1TD&ab_test_case=a).

53. Nichicon UPJ1H010MDD1TD [Электронный ресурс] // digikey.com. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/nichicon/UPJ1H010MDD1TD/3130047?s=N4IgtTCBcDaIlwAICuAxBBhAhgB0wYwEsAXAewCcEAWATgGYBaAVgAZKx656A5AERAF0AvkA#product-details-substitutes>.

54. Nichicon UPJ1H010MDD1TD [Электронный ресурс] // snapeda.com.

– Режим доступа до ресурсу:

[https://www.snapeda.com/parts/UPJ1H010MDD1TD/Nichicon/view-part/?ref=search&t=UPJ1H010MDD1TD&ab\\_test\\_case=a](https://www.snapeda.com/parts/UPJ1H010MDD1TD/Nichicon/view-part/?ref=search&t=UPJ1H010MDD1TD&ab_test_case=a).

					<i>PI11.266012.001 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ Документа_	Подпись_	Дата		66

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	PI11.266012.001 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	4	
2	A4	PI11.266012.001 ПЗ	Пояснювальна записка	66	
3	A4	PI11.266012.001	Специфікація на пристрій	1	
4	A3	PI11.266012.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
5	A4	PI11.123456.001 ПЕ	Перелік елементів	2	
6	A3	PI11.266012.001 СК	Складальний кресленик пристрою	1	
7	A3	PI11.266012.002 СК	Складальний кресленик друкованої плати	1	
8	A4	PI11.266012.002	Специфікація на друкований вузол	1	
9	A3	PI11.758726.001	Плата	1	
10	A4	PI11.730708.002	Кришка корпусу	1	
11	A3	PI11.730708.003	Корпус	1	
12	A4	PI11.715818.004	Гумова проставка	1	

				<b>PI11.266012.001</b>		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Поталенко В.			Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Шарпан О.Б.				1	95
Консульт.					НТУУ КПІ, РТФ, PI-11	
Н/контр.						
Зав.каф.						

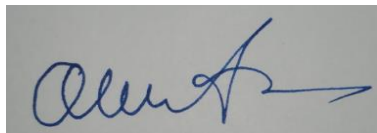
## ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проєкту

Шарпан О. Б.

«14» квітня 2025 р.



### ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри

Літвінцев С. М.

«14» квітня 2025 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до дипломного проєкту

«Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoCHAid»

Київ – 2025

## **1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ**

Назва дипломного проєкту «Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoSNAid».

Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою радіоінженерії від

«14» квітня 2025 р.

## **2. ВИКОНАВЕЦЬ**

Виконавець – студент групи РІ-11 Потапенко Владислав Вячеславович

## **3. МЕТА ВИКОНАННЯ ДП І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ**

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик бюджетного слухового апарату на базі платформи LoSNAid шляхом зменшення рівня еквівалентного вхідного шуму (EIN), впровадження можливості регулювання частотної характеристики та оптимізації конструкції пристрою з урахуванням умов його збірки.

Слуховий апарат призначений для компенсації помірних і середніх порушень слуху, переважно у пацієнтів літнього віку, з акцентом на простоту у використанні, доступність та мінімальну вартість виготовлення.

## **4. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ**

### **4.1 Призначення**

Пристрій повинен забезпечувати:

- 1) регульовану частотну характеристику в діапазоні 2-8кГц;
- 2) еквівалентний вхідний шум (EIN) не вище 35 dB SPL;
- 3) живлення від батарейки типу CR2032 або аналогічного джерела живлення напругою 3 В;
- 4) можливість відключення живлення перемикачем;
- 5) просту заміну елементів живлення користувачем;
- 6) вихід на стандартний 3,5 мм аудіороз'єм;
- 7) розміри плати < 8 см × 6 см.

## **4.2 Надійність**

- 1) Забезпечення стабільної роботи за умов кімнатної температури (від +10 до +40 °С);
- 2) Забезпечення нормальної роботи при вологості до 80% без конденсації.

## **4.3 Конструкція**

Конструкція повинна передбачати:

- 3) односторонню друковану плату з ручним монтажем елементів;
- 4) компактне компонування плати з площею не більше 5000 мм<sup>2</sup>;
- 5) пластиковий корпус з отворами для мікрофона, кнопки ввімкнення, аудіороз'єму та акумуляторного відсіку;
- 6) можливість швидкого розбирання/збирання приладу без пошкодження компонентів.

## **4.4 Способи підключення**

Можливість підключення стандартних навушників з роз'ємом 3,5 мм.

## **4.5 Уніфікація і стандартизація**

- 1) Використовувати уніфіковану елементну базу;
- 2) Дотримання стандартів ІРС щодо проектування друкованих плат.

## **4.6 Дизайн, ергономіка та технічна естетика**

- 1) Корпус має бути зручним для використання літніми людьми;
- 2) Кнопка ввімкнення повинна бути великою, чітко позначеною;
- 3) Пристрій повинен мати естетичний вигляд без гострих кутів або небезпечних виступів.

## **4.7 Умови експлуатації, зручність технічного обслуговування та ремонту**

- 1) Використання пристрою в приміщеннях або при відносно сухій погоді;
- 2) Доступ до зміни батарейного відсіку;

## **4.8 Вимоги до безпеки для життя, здоров'я і майна громадян та охорони довкілля**

- 1) Виріб повинен відповідати вимогам електробезпеки;
- 2) Матеріали корпусу мають бути нетоксичними, безпечними при контакті зі шкірою;
- 3) Використання матеріалів, що не забруднюють довкілля та підлягають утилізації.

#### **4.9 Вимоги до транспортування і зберігання**

- 1) Пристрій має витримувати транспортування без ушкоджень згідно з умовами категорії 2K2 стандарту ДСТУ EN ІЕС 60721-3-2:2022;
- 2) Зберігання — у сухих приміщеннях при температурі від +5 до +35 °С, відповідно до ДСТУ EN 60721-3-1:2022.

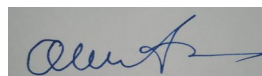
Виконавець

Потапенко В.В



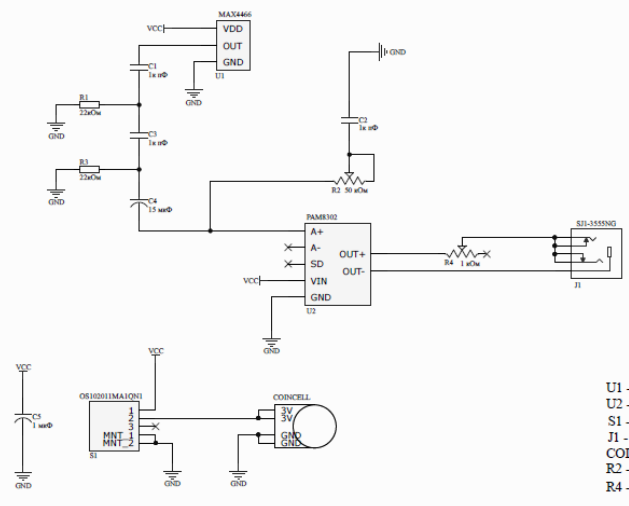
Керівник

Шарпан О.Б.



**ДОДАТОК Б. КОМПЛЕКТ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Прим.	
				<u>Документація</u>			
A4			PI11.266012.001 ПЗ	Пояснювальна записка			
A4			PI11.456000.001 ПЕ	Перелік елементів			
A3			PI11.266012.001 ЕЗ	Схема електрична принципова			
A3			PI11.266012.001 СК	Складальний <u>кресленник</u>			
				<u>Складальні одиниці</u>			
		1	PI11.266012.002 СК	Плата керування	1		
				<u>Деталі</u>			
A4		2	PI11.730708.002	Кришка <u>корпуса</u>	1		
A3		3	PI11.730708.003	Корпус	1		
A4		4	PI11.715818.004	Гумова <u>проставка</u>	4		
				<u>Стандартні вироби</u>			
		5		<u>Винт</u> М3×8 ISO7380	4		
		6		Гвинт М3×5 потай DIN 7991	4		
		7		Шестигранник калібрований М5	4		
				<b>PI11.266012.001</b>			
			<u>№ докум</u>	<u>Підпис</u>	<u>Дата</u>		
<u>Розробив</u>	Потапенко			Бюджетний слуховий апарат на базі платформи <u>LoCHAid</u>	<u>Лит.</u>	<u>Арк.</u>	<u>Аркуші</u>
<u>Дисейн</u>	Шарпан О.					1	2
<u>Реценз</u>	Головня В.						
<u>Н.Контр</u>	Поплуй В.						
<u>Затверд</u>	Шарпан О.						
					НТУУ «КПІ» РТФ, PI-11		



- U1 - мікрофонний підсилювач MAX4466
- U2 - малопотужний підсилювач RAM8302A
- S1 - перемічник
- J1 - аудіороз'єм
- COINCELL - батарея
- R2 - регулятор частотної характеристики
- R4 - регулятор звуку

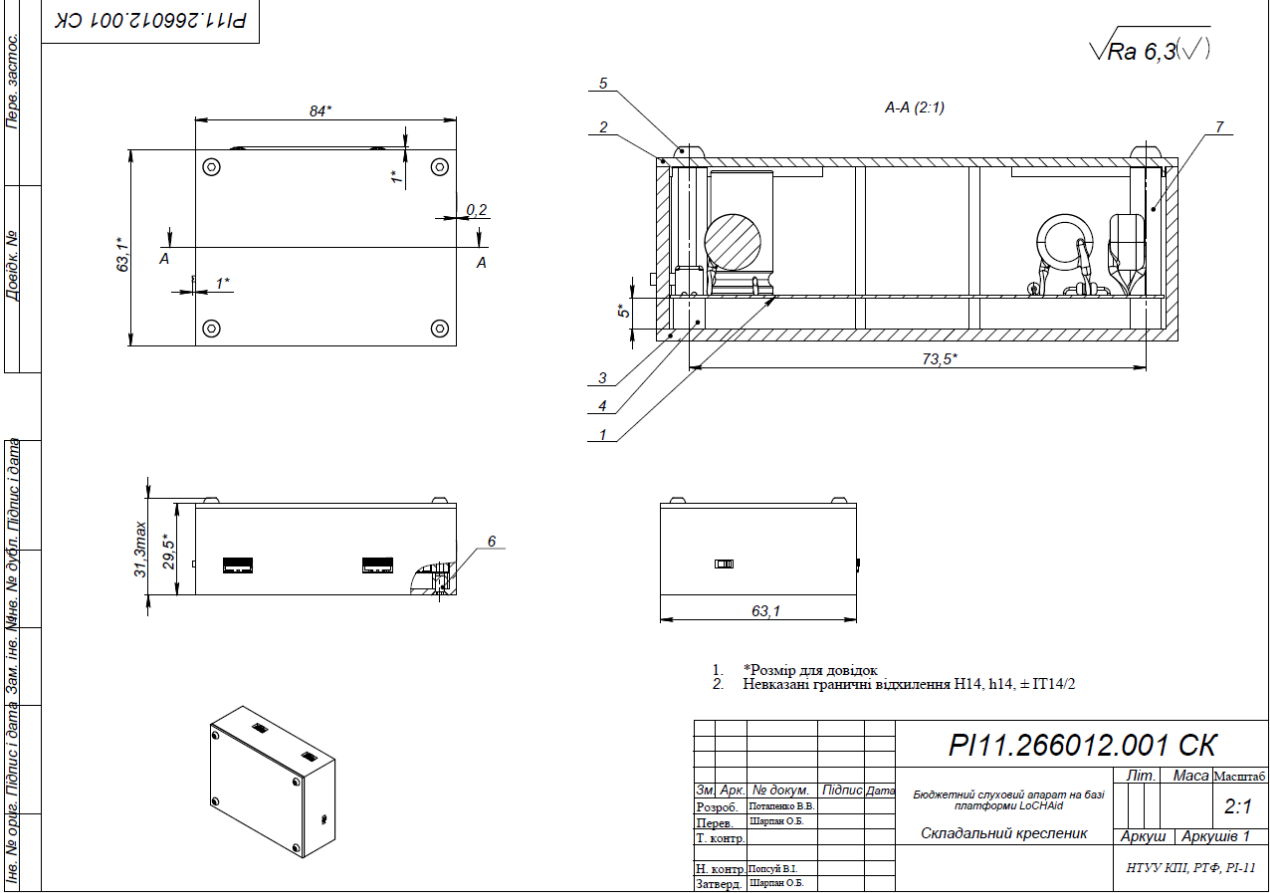
				<b>PI11.266012.001 E3</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Бюджетний слуховий апарат на базі платформи LoCHAIc	
Розроб.		Логаленко В.Б.			Схема електрична принципова	
Перев.		Шарпан О.Б.			Лист 1	Листів 1
Реценз.		Головня В.М.				
Н. контр.		Лопсуй В.І.			НТУУ КПІ, РТФ, PI-11	
Затв.		Шарпан О.Б.				

Копіював:

Формат А3







Перв. застос.  
Довідок №  
Імв. № ориг. Підпис і дата  
Зам. імв. Міне. № дубл. Підпис і дата

PI11.266012.001 CK

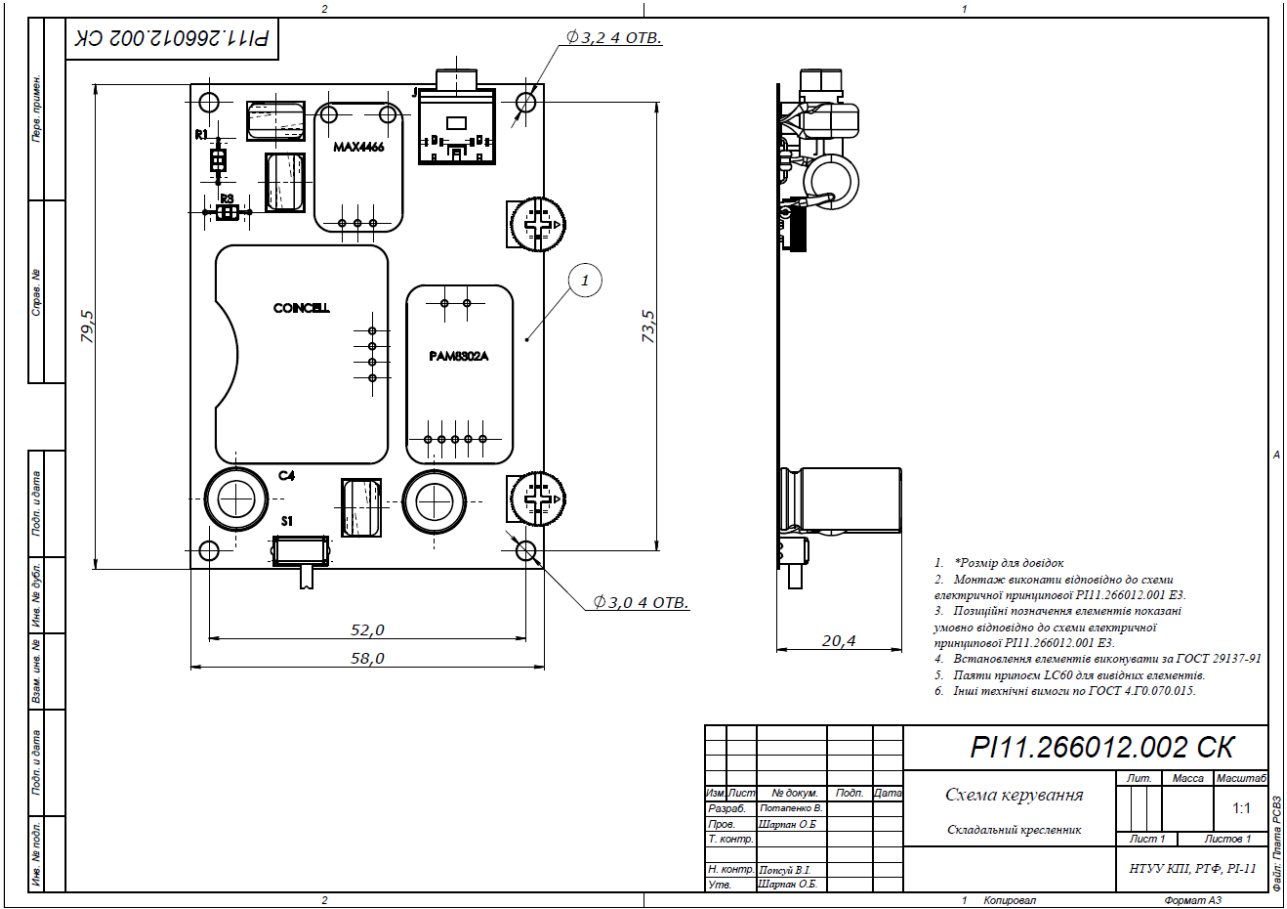
$\sqrt{Ra\ 6,3(\checkmark)}$

A-A (2:1)

- 1. \*Розмір для довідок
- 2. Невказані граничні відхилення Н14, h14, ± IT14/2

				<b>PI11.266012.001 CK</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Бюджетний службовий апарат на базі платформи LoSCHid	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.		Поташенко В.В.						2:1
Перев.		Шарма О.Б.			Складальний кресленик	Аркуш	Аркушів	1
Т. контр.						НТУУ КПІ, РГФ, РІ-11		
Н. контр.		Посуй В.І.				Копіює		
Затверд.		Шарма О.Б.				Формат А3		

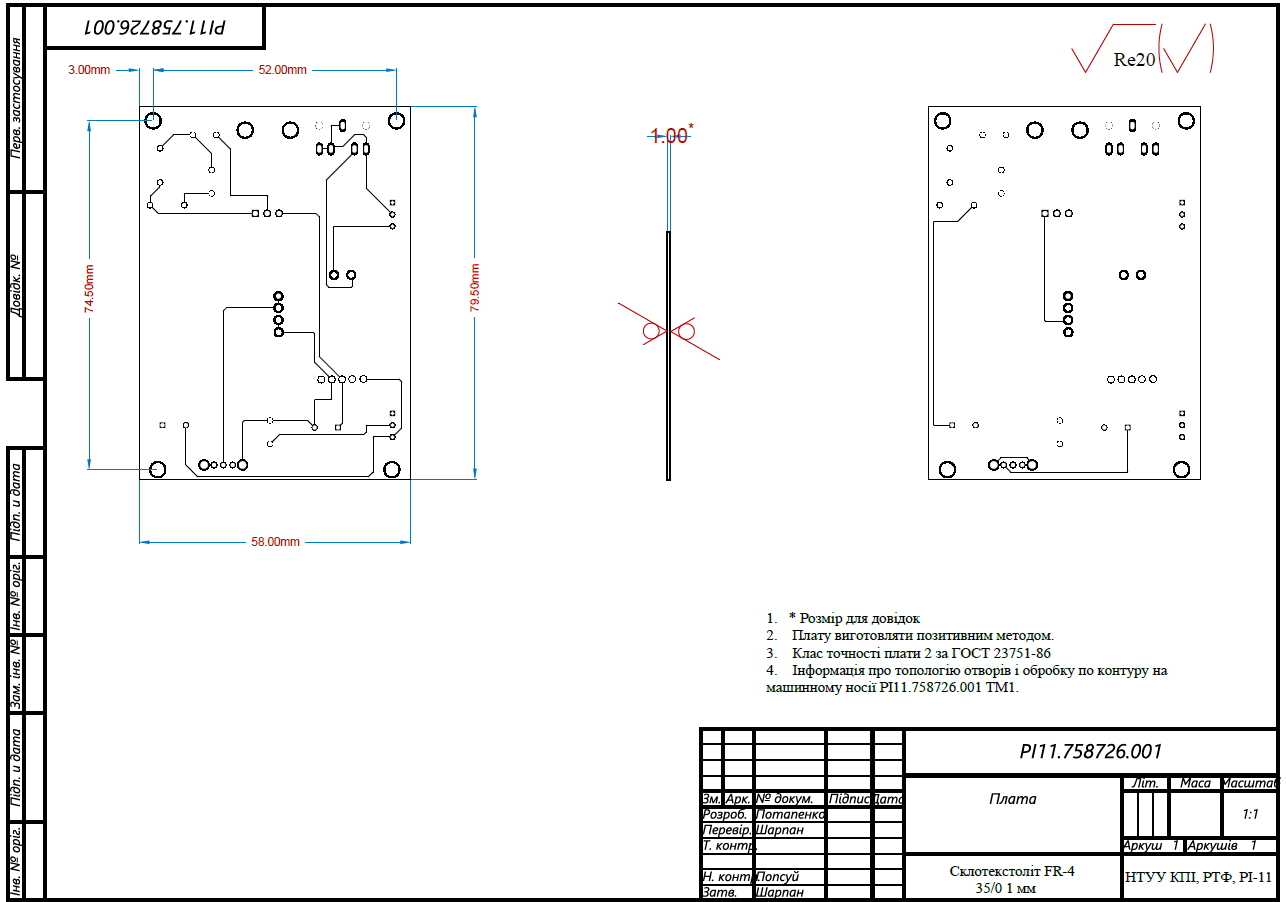
Файл: PC.00.00000.00.00 - Корпус РСЗВ

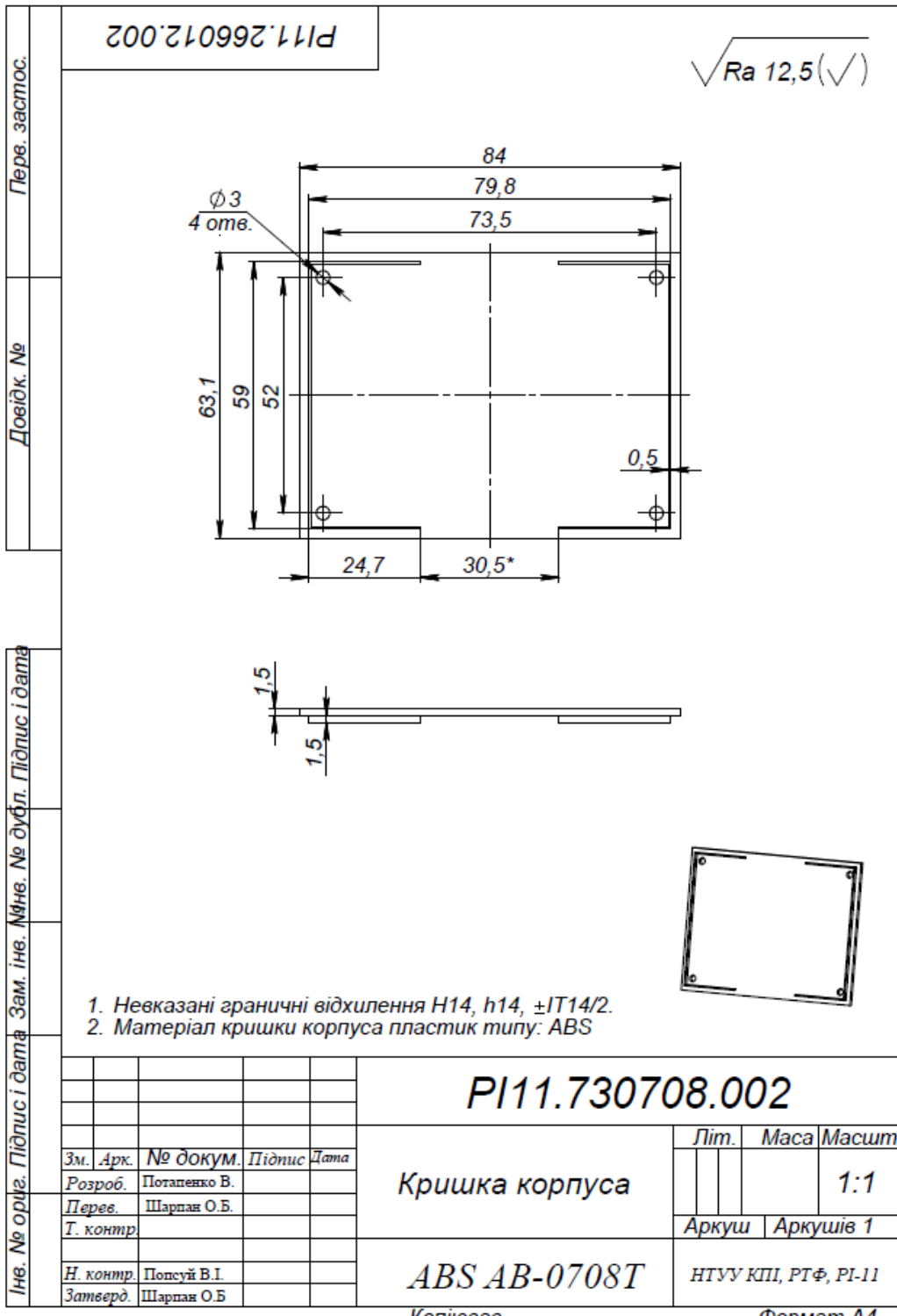


				<b>PI11.266012.002 CK</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема керування	Лист	Масштаб
Разроб.	Потапенко В.					1:1	
Прое.	Шарман О.Б.						
Т. контр.					Складальний креслений	Лист 1	Листов 1
Н. контр.	Понсуй В.І.					НТУУ КПІ, РТФ, РІ-11	
Утв.	Шарман О.Б.						

Формат: Листів РСБ5







Перв. застос.  
 Довідк. №  
 Зам. інв. Мінв. № дубл. Підпис і дата  
 Підпис і дата  
 Інв. № ориг. Підпис і дата

<b>PI11.730708.002</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Потапенко В.		
Перев.		Шарпан О.Б.		
Т. контр.				
Н. контр.		Попсуй В.І.		
Затверд.		Шарпан О.Б.		
<b>Кришка корпусу</b>			Лім.	Маса
<b>ABS AB-0708T</b>			Аркуш	Аркушів 1
Копіював			Масштаб	1:1
Формат A4			HTVU КПІ, РТФ, PI-11	

Файл: PC.00.00000.00.00 - Кришка корпусу

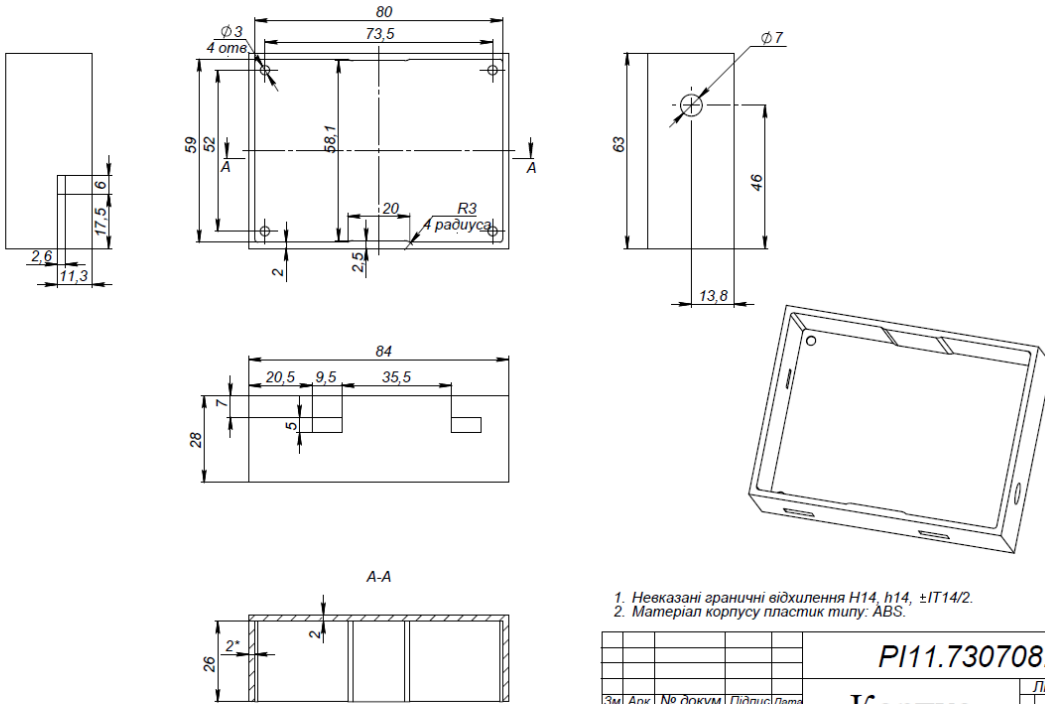
Перв. застос.

Дослідк. №

Інв. № ориг. Підпис і дата Зам. інв. Мінв. № ориг. Підпис і дата

PI11.266012.003

√Ra 12,5(√)

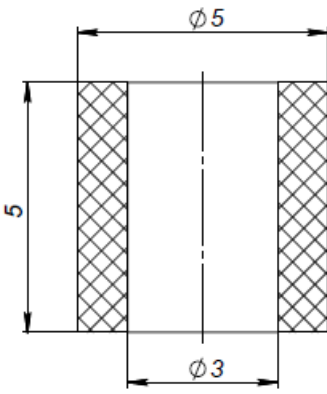


1. Невказані граничні відхилення Н14, н14, ±IT14/2.
2. Матеріал корпусу пластик типу: ABS.

				<b>PI11.730708.003</b>		
				<b>Корпус</b>		
				Лит.	Маса	Масштаб
						1:1
				Аркуш 1 Аркуші 1		
				ABS AB-0708T		
				НТУУ КПІ, РГФ, РІ-11		
				Копіював		
				Формат А3		

Корпус

Файл: PC.00.00000.0005

Перв. застос.	PI11.266012.004				$\sqrt{Ra 12,5}$ (✓)								
Довідк. №													
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв.	Мінв. № дубл.	Підпис і дата	<p>1. *Розміри для довідок. 2. Невказані граничні відхилення Н14, н14.</p>								
Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв.	Мінв. № дубл.	Підпис і дата	<p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">PI11.715818.004</p>								
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Лім.</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Маса</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">10:1</td> </tr> </table>			Лім.	Маса	Масштаб			10:1
Лім.	Маса	Масштаб											
		10:1											
Розроб.	Погаленко В.				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Гумова проставка</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>			Гумова проставка					
Гумова проставка													
Перев.	Шарпан О.Б.				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Аркуш</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Аркушів</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">1</td> </tr> </table>			Аркуш	Аркушів	1			
Аркуш	Аркушів	1											
Т. контр.					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Гума VT-415818</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">НТУУ КПІ, РТФ, PI-11</td> </tr> </table>			Гума VT-415818		НТУУ КПІ, РТФ, PI-11			
Гума VT-415818		НТУУ КПІ, РТФ, PI-11											
Н. контр.	Попсуй В.І.				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">Копіював</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">Формат А4</td> </tr> </table>			Копіював		Формат А4			
Копіював		Формат А4											
Затверд.	Шарпан О.Б.				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>								

Файл: PC.00.00000.00.00 - Гумова проставка

## ДОДАТОК В. РОЗРАХУНОКИ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ВЛАСНОГО ШУМУ ТА РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тепловий шум резисторів

Використовуємо формулу Джонсона-Найквіста:

$$e_t = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

Де:

$k := 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  - стала Больцмана,

$T := 300 \text{ К}$  - температура,

$R_1 := 68 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ ,

$R_2 := 22 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ ,

$\Delta f := 20 \cdot 10^3 \text{ Гц}$  - Смуга пропускання слухового апарату

Розраховуємо рівень власного шуму до змін:

$e_{68} := \sqrt{4k \cdot T \cdot R_1 \cdot \Delta f} = 4.746 \times 10^{-6} \text{ В RMS}$  - шум одного резистора

$e_{682} := \sqrt{(e_{68})^2 + (e_{22})^2} = 6.711 \times 10^{-6} \text{ В RMS}$  - шум двох резисторів

Розрахуємо шум мікрофона MAX9814

Згідно з технічною документацією, MAX9814 має рівень власного шуму(EIN)=40 дБ SPL.

Переведемо за формулою звукового тиску в (дБ) у тиск в (Па)

$$N = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

Де:

$P$  - фактичний звуковий тиск ( у Паскалях),

$P_0 := 20 \cdot 10^{-6}$  Па - еталонний звуковий тиск для повітря

---

$$N := 40 \text{ дБ}$$

Маємо:

$$40 = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{20 \cdot 10^{-6}} \right)$$

Поділимо на 20:

$$2 = \log_{10} \left( \frac{P}{20 \cdot 10^{-6}} \right)$$

Позбудемося логарифма:

$$10^2 = \frac{P}{20 \cdot 10^{-6}} \rightarrow P = 100 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$$

Отже, 40 дБ SPL = 2 мПа

Тиск не дорівнює напрузі напряму для цього потрібно знати:

Чутливість мікрофона(S) - у мВ/Па або Дб(відносно 1 В/Па).

У багатьох модулях з MAX9814 використовується електричний мікрофон з чутливістю близько -44 дБ(відносно 1 В/Па).

Це еквівалентно 6.3 мВ/Па.

$$P := 2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \quad S := 6.3 \cdot 10^{-3} \text{ мВ/Па}$$

$$U := P \cdot S = 1.26 \times 10^{-5} \text{ В}$$

Тобто, 40 дБ SPL еквівалентно 12.6 мкВ RMS, якщо чутливість мікрофона 6.3 мВ/Па.

Разом із шумом резисторів:

$$e_{6829814} := \sqrt{(12.6 \cdot 10^{-6})^2 + (6.711 \cdot 10^{-6})^2} = 1.428 \times 10^{-5} \text{ В RMS}$$

14.3 мкВ RMS еквівалентно 41.2 дБ SPL, що перевищує прийнятні стандарти (27 - 34,5 дБ SPL).

Розраховуємо рівень власного шуму після змін:

$$e_{22} := \sqrt{4k \cdot T \cdot R_2 \cdot \Delta f} = 2.699 \times 10^{-6} \text{ В RMS - шум одного резистора}$$

$$e_{222} := \sqrt{(e_{22})^2 + (e_{22})^2} = 3.817 \times 10^{-6} \text{ В RMS - шум двох резисторів}$$

Розрахуємо шум мікрофона MAX4466

MAX4466 має рівень власного шуму(EIN)=30 дБ SPL.

Переведемо за формулою звукового тиску в (дБ) у тиск в (Па)

$$N = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_0} \right)$$

Де:

P - фактичний звуковий тиск( у Паскалях),

$P_0 := 20 \cdot 10^{-6}$  Па - еталонний звуковий тиск для повітря

$N := 40$  дБ

Маємо:

$$30 = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_1}{20 \cdot 10^{-6}} \right)$$

Поділимо на 20:

$$1.5 = \log_{10} \left( \frac{P_1}{20 \cdot 10^{-6}} \right)$$

Позбудемося логарифма:

$$10^{1.5} = \frac{P_1}{20 \cdot 10^{-6}} \rightarrow P_1 := 10^{1.5} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 6.3 \times 10^{-4}$$

Отже, 40 дБ SPL = 2 мПа

---

Тиск не дорівнює напрузі напряму для цього потрібно знати:

Чутливість мікрофона(S1) - у мВ/Па або Дб(відносно 1 В/Па).

У багатьох модулях з МАХ4466 використовується електричний мікрофон з чутливістю близько -44 дБ(відносно 1 В/Па).

Це еквівалентно:

$$S1 := 6.3 \cdot 10^{-3} \text{ мВ/Па}$$

$$U1 := P1 \cdot S1 = 3.984 \times 10^{-6} \text{ В}$$

Тобто, 30 дБ SPL еквівалентно 3.984 мкВ RMS, якщо чутливість мікрофона 6.3 мВ/Па.

---

Разом із шумом резисторів:

$$e_{2224466} := \sqrt{(3.984 \times 10^{-6})^2 + (3.817 \times 10^{-6})^2} = 5.5 \times 10^{-6} \text{ В RMS}$$

5.5 мкВ RMS еквівалентно 32,77 дБ SPL, що відповідає прийнятим стандартам (27 - 34,5 дБ SPL).

## Впровадження регулятора частотної характеристики в слуховий апарат

До впровадження регулятора частотної характеристики

У базовій версії LoSNAid використовується фіксований RC-фільтр другого порядку, що складається з двох послідовних RC-каскадів з такими номіналами:

Резистори:  $R_1 := 68 \cdot 10^3 \text{ Ом}$

$$R_2 := 68 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Конденсатори:  $C_2 := 1000 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$

$$C_3 := 1000 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Ця конфігурація забезпечує постійну частоту зрізу приблизно:

$$f_1 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_2} = 2.341 \times 10^3 \text{ Гц}$$

(для одного каскаду), а для другого порядку з урахуванням падіння на 3 дБ:

$$f_2 := \frac{f_1}{\sqrt{2}} = 1.655 \times 10^3 \text{ Гц}$$

Це значення є фіксованим і не дозволяє налаштувати слуховий апарат під потреби користувача з іншим профілем втрати слуху.

Після впровадження регулятора частотно характеристики

Для обраного діапазону:

$$R_3 := 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_4 := 50 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$C := 1000 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Мінімальна частота зрізу (при  $R=50 \text{ кОм}$ )

$$f_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_4 \cdot C} = 3.183 \times 10^3 \text{ Ом}$$

---

Максимальна частота зрізу (при  $R=1 \text{ кОм}$ )

$$f_4 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_3 \cdot C} = 1.592 \times 10^5 \text{ Ом}$$

Отже, регульований фільтр охоплює критичний діапазон мовних частот( 2-8 кГц).