

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 534-8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

Найда С.А.

(ініціали, прізвище)

“ 07” грудня 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності (спеціалізації) _____

171 - Електроніка

(код та назва спеціальності)

на тему: Ультразвуковий пристрій для левітації об'єктів

Виконав: студент 6 курсу, групи ДГ-91 мп

(шифр групи)

Сусленко Єгор Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник професор, доктор т.н Дідковський В.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

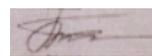
(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент проф. кафедри ЕІ, д.т.н Прокопенко Ю.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Студент



(підпис)

Київ – 2020 року

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

Інститут/факультет _____ електроніки _____
(повна назва)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність (спеціалізація) 171 - Електроніка _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



(підпис)

Найда С.А.

(ініціали, прізвище)

« 07 » грудня _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Сусленко Єгор Олегович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Ультразвуковий пристрій для левітації об'єктів. _____

керівник проекту (роботи) Дідковський В.С., професор, доктор т.н. _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. № 3241-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 07.12.2020 _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) розробити ультразвуковий пристрій силової дії в повітрі.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз науково-технічної літератури. _____)

2. Розробка ультразвукового пристрою силової дії в повітрі . _____

3. Висновок _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) презентація _____

6. Дата видачі завдання 25.06.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Збір матеріалів для роботи. Аналіз науково-технічної літератури.	25.06.20-10.09.20	
2	Теоретичний розрахунок та обрання оптимальних технічних характеристик пристрою для ультразвукового масажу.	14.09.20-15.10.20	
3	Ескізне конструювання пристрою.	17.10.20-25.10.20	
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації.	3.11.20-19.11.20	

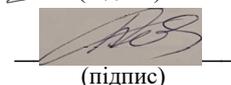
Студент


(підпис)

Є.О. Сусленко

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

В.С. Дідковський

РЕФЕРАТ

Сусленко Є.О Ультразвуковий пристрій для левітації об'єктів : магістер. дис. : 171 Електроніка. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 52 с.

Метою роботи є аналіз сучасної технології створення акустичного пристрою формування силової дії в повітрі та створення ультразвукового пристрою для левітації об'єктів.

В роботі проведено розрахунок ефективності технології створення силової дії в повітрі за допомогою ультразвуку, базуючись на роботах та методах отримання силової дії ультразвуку в повітрі Найді С.А., Козерука С.О., Розенберг Л.Д, Т.Гоші., М.Такахаші, Т.Івамото.

Проведено аналіз доцільності використання ультразвуку в мультимедіа. Визначені оптимальні технічні характеристики для пристрою, а саме пристрою формування силової дії в повітрі за допомогою ультразвуку та для левітації об'єктів в повітрі.

В результаті теоретичних підрахунків та результатів, отриманих після моделювання процесу роботи пристрою в середовищі програмування Matlab та їх оцінки, було виявлено, що технологія формування силової дії в повітрі є потенційною і перспективною для створення мультимедійних пристроїв для левітації об'єктів.

Розроблено пристрій та зроблено ескізне проектування.

Ключові слова: акустика, ультразвук, силова дія, радіаційний тиск

ABSTRACT

Suslenko Yehor Ultrasonic device for levitation of objects: master dis. : 171 Electronics. Kyiv, KPI Igor Sikorsky, 52 p. By the method of robotics, an analysis of the current technology of the root of the acoustic attachment for the formation of the power action in the direction of the ultrasonic attachment for the levitation of the objects.

The research has been carried out on the effectiveness of the technology of the establishment of power action in the case of auxiliary ultrasound, based on works and methods of rejection of the power action of ultrasound in the case of Naida S.A., Kozeruka S.O., Rosenberg L.D., T.Goshi., M. Takahashi, T. Iwamoto.

The analysis of the technical support of ultrasound in multimedia was carried out. The values of the optimal technical characteristics for the attachment, and the attachment itself, for the power action in the case of additional ultrasound, and for the left-over facilities in the occasion.

As a result of theoretical ideas and results, taken for modeling the process of robotics, adding in the middle of the Matlab software and assessments, it was revealed that the technology of shaping power action in the world of multimedia for the potential for future development.

Crafted priestly and crushed in a smart way.

Key words: acoustics, ultrasound, ultrasonic, power action, radio vise

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

УЗ– ультразвук

ПК – персональний комп'ютер

ДСТУ – державний стандарт України

ТТЛ – транзисторно-транзитна логіка

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ	6
ВСТУП	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	11
1.1. Використання силової дії ультразвуку	11
1.2. Застосування ультразвуку в мультимедіа.	13
1.3. Опис проблеми та висновки про актуальність роботи.....	17
1.4. Формування ТЗ для майбутнього пристрою.....	18
1.5. Вихідні технічні характеристики пристрою.	19
2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЛЕВІТАЦІЇ.....	20
2.1. Структурна схема та принцип роботи.	20
2.2. Обчислення рівня утвореного радіаційного тиску.	21
2.3. Обчислення матричного масиву для УЗ випромінювача.....	24
2.4. Ескізне конструювання пристрою.	29
3. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	32
3.1.Опис ідеї проекту.....	32
3.2.Технологічний аудит ідеї проекту.	35
3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	37
3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	41
3.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	50

ВСТУП

В часи нових можливостей та стрімкого розвитку технологій, постійного потоку інформації, а також, на фоні розробок 3D телебачення, комп'ютерних ігрових приставок, які вже мають можливість взаємодії людини з віртуальним зображенням виникає необхідність у забезпеченні тактильного зворотного зв'язку (tactile force feedback). Така технологія допоможе підсилити реалістичність відчуттів та надасть свіжий ковток повітря для розробників контенту. Передача відчуттів дотику отримала назву тактильного мовлення (haptic broadcasting). Передача відчуття дотику на відстань збільшує дійову силу комунікативних систем, зростає кількість каналів передачі, створює ефект віртуальної реальності.

Для передачі силового впливу безпосередньо на тіло людини існує ряд рішень з різним видом дії:

- вібраційні дотикові стимулятори [1]. Ці девайси сковують рухи, через дотик між шкірою і випромінювачем;
- пристрої, що використовують технології повітряних струменів позбавлені від зазначених недоліків, однак через розсіяння повітряного потоку, вони не дозволяють локалізувати тактильну дію;
- роботи [3,4-6,7-8] по створенню тактильної передачі при використанні спрямованого інтенсивного ультразвуку в повітрі. Потужний ультразвук [5] продукує радіаційний тиск, розвиваючи безперервну силу на площині перегороди. У працях [4-6] описані пристрої тактильної стимуляції, основним елементом яких є матриця дискретних ультразвукових випромінювачів. За допомогою введення фазової затримки в ланцюзі випромінювання матриці, забезпечується фокусування ультразвуку в деякій області простору.

У роботі наведено розрахунки радіаційного тиску і розподілу ультразвукового тиску в області фокусування. Досліджено фізичні моделі приладу і проведені експерименти. Результати досліджень довели шанс

продукування ультразвуком силової дії в повітрі, достатньої для отримання тактильного відчуття.

Ультразвуковий тактильний пристрій [9] може доповнити смартфон, який одночасно з символами і знаками передає відчуття дотику безпосередньо на тіло людини. Відповідність тактильної дії ультразвуку на відчуттях людини досліджувалася в роботі [10]. Siglar [11] пропонує використання ультразвуковий прилад у парі з музичним інструментом, даючи таким чином зворотним зв'язок.

Основною перевагою ультразвукового методу є можливість створення локальної силової дії безконтактно.

В роботі [12] запропоновано алгоритм розрахунку ультразвукового поля плоского випромінювача. Такий принцип використовується для масивів випромінювачів невеликого розміру [13]. Одержані дані були застосовані для створення ультразвукового пристрою силової дії, представленого в роботі [14].

Проблема тактильного мовлення передбачає потребу у вирішенні низки завдань: створення інтенсивного ультразвуку, розробці матриць випромінювачів з електронним управлінням променем, розрахунок характеристик ультразвукового поля і побудови алгоритмів сканування, управління характеристиками ультразвуку, з метою отримання тактильних відчуттів у користувача.

На сьогодні ультразвук має застосування в різних областях, проте в майбутньому, завдяки таким дослідженням, він отримає можливість для ще більш широкого застосування. Вже сьогодні планується створення прогресивних, для сьогоднішнього дня, пристроїв, які, за допомогою ультразвуку будуть імітувати відчуття дотику або будуть змушувати левітувати легкі об'єкти.

У перспективі технологію можна застосовувати для поліпшення інтерактивності в музеях і іграх.

Основною перевагою ультразвукового методу є можливість створення локально-силової дії зі скануванням по простору.

У роботі розглянуто питання моделювання сфокусованого ультразвукового поля, яке генерується матричними випромінювачами з урахуванням введення фазового сканування простору.

Ультразвук генерується матрицею з 32 повітряних випромінювачів, що працюють на частоті 40 кГц, керування точкою фокусу здійснюється програмно з ПК. Отриманий тиск ультразвуку – радіаційний – в позиції фокусу складає 57 Па і це дозволяє переміщувати легкі предмети та відчувати тактильну дію ультразвуку.

Живучи в умовах карантину через хворобу COVID-19, по всьому світу підвищується інтерес до відеоігор та інтерактивного контенту, оскільки люди по всьому світу обмежують контакти з зовнішнім світом. Таким чином, щодня зростає ринок реалізації, а це супроводжується новими запитами та потребами у користувачів.

Використання технології ультразвукової левітації в мультимедіа – дуже прогресивна та відповідальна місія. Невідомо, як та коли світ повернеться до нормального життя та чи повернеться взагалі. Тому, вважаю, додавання тактильної реакції до голограми є дуже актуальним.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Використання силової дії ультразвуку

Телекомунікаційні системи сьогодні, самі по собі включають передачу не тільки просто інформації, щоб зробити меседж більш ефективним. Передача тактильних відчуттів називається тактильною мовою.

В останніх період, у рамках розробки 3D-телебачення, комп'ютерних ігрових приставок та інших пристроїв, коли людина взаємодіє з віртуальним світом, стало необхідним надати тактильний фідбек, який би допоміг підвищити реалістичність почуттів. Сучасні комунікаційні системи передбачають передачу невербальної інформації для більшого наповнення повідомлення. Передача відчуттів, емоцій і дотику називається *haptic broadcasting*. Віддалена передача невербальної інформації може підвищити ефективність комунікаційних систем, розширити діапазон інформаційних каналів та забезпечити ефект віртуальної реальності у юзера.

Для створення силового впливу на організм людини пропонується ряд рішень на основі пристроїв з різними принципами роботи. Використання тактильних вібраційних стимуляторів [28] обмежується низкою факторів. Такі пристрої обмежують рух і створюють відчуття дотику через контакт між шкірою та стимулятором. Повітряні потоки [29] не мають цих недоліків, однак через дисперсію повітряного потоку вони не дозволяють локалізувати тактильну дію. Відомі роботи [28-33] щодо створення тактильної дії з використанням потужного ультразвуку в повітрі. Інтенсивний ультразвук [5] формує радіаційний тиск і має можливість створити сталу силу на поверхні перепони.

У праці [4-6] представлені тактильні прилади, що складаються з плоскої матриці повітряних ультразвукових передавачів. Введення фазової затримки в радіаційному контурі забезпечує фокусування ультразвуку в певній позиції

простору. Представлені розрахунки тиску випромінювання та розподілу ультразвукового тиску в зоні фокусування. Описані фізичні моделі пристроїв та проведені експериментальні дослідження. Результати експериментальних вимірів підтвердили можливість формування сили в повітрі за допомогою ультразвуку, достатньої для досягнення відчуття дотику.

Ультразвуковий тактильний прилад [9] може доповнювати графічний пристрій, одночасно передаючи невербальну інформацію (емоції, почуття) безпосередньо на шкіру людини з символами та знаками. Згідно до тактильного впливу ультразвуку на відчуття людини вивчалася в [10]. Зіглар пропонує використовувати ультразвуковий апарат для доповнення тактильного зворотного зв'язку від музичних інструментів [11].

Основною перевагою ультразвукової передачі та методу загалом є можливість створення локальної / вимушеної дії з розгорткою в просторі.

У статті розглядаються проблеми моделювання сфокусованого ультразвукового поля, генерованого матричними випромінювачами, з урахуванням запровадження сканування фазового простору.

Ультразвук генерується масивом з 32 повітряних передавачів, робоча частота - 40 кГц, промінь управляється програмним забезпеченням з персонального комп'ютера. Тиск випромінювання в фокусній точці становив 57 Па, що дозволяє рухати легкі предмети і відчувати тактильний ефект ультразвуку.

Проблема тактильної мови включає в себе вирішення низки завдань генерації інтенсивного ультразвуку, розробки масивів випромінювачів з електронним управлінням променем, обчислення характеристик ультразвукового поля та розрахунок алгоритмів сканування, контроль характеристики ультразвуку, щоб отримати адекватну тактильну реакцію від користувача. У МР розглядаються проблеми моделювання сфокусованого ультразвукового поля, генерованого матричними випромінювачами, з урахуванням запровадження фазового сканування в просторі. Розраховано

залежності параметрів пучка від кута сканування та його впливу на тиск генерованого випромінювання.

1.2 Застосування ультразвуку в мультимедіа

Фінською фірмою FogScreen була розроблена унікальна технологія для шоу-індустрії. На зміну лазерній проекції та димовим установкам прийшла абсолютно нова, яка не має аналогів, розробка - туманний або димовий екран. Це екран для проекції зображення, через який можна проходити. Установка дозволяє отримувати чітке та стабільне зображення, що вертикально витає у повітрі. Технологія представляє собою туманний дисплей, створений з води та ультразвукових хвиль. Плоска туманна поверхня створюється за допомогою спеціальної установки, в яку подається звичайна вода, що, пройшовши через генератор, виходить у вигляді пари, а потоки повітря, спрямовані певним чином, не дозволяють їй розсіюватися. Виходить поверхня, на яку можна проектувати будь-яке зображення, що за якістю наближається до фотографії. Важливо відзначити, що на дотик, «завіса з туману» суха та прохолодна, і не залишає ніяких слідів на одязі. Установка може працювати безперервно, для цього треба лише організувати постійну подачу води. У процесі роботи установка безшумна та не конденсує воду. Туман, що створюється зі звичайної води, розчиняється протягом декількох секунд після вимкнення.



Рис.1 FogScreen

Найтонший шар туману стабілізується потоками теплого повітря, утворюючи двометровий вертикальний туманний екран. Унікальність цієї установки полягає в тому, що існує можливість необмежено збільшувати довжину установки, а також змінювати її лінійність аж до створення дугоподібних, замкнутих, овальних і кільцевих конструкцій.

Зображення проектується за допомогою відеопроєктора - «гармати» на передню і задню сторону туману. Джерело сигналу - DVD або ноутбук. Для демонстрації підійдуть будь-які графічні матеріали, фотографії, презентації, відеороліки. За допомогою туманного екрану FogScreen можливе створення неймовірних декорацій на сценах театрів та концертних залів, а також неповторного інтер'єру.

Туман дисплею створюється за допомогою води та ультразвукових хвиль, які в сукупності утворюють сухий на дотик "екран." Як тільки такий "екран" сформовано, зображення можуть бути спроектовані на обидві - фронтальну і бокову - сторони туману.

Туман створюється невеликою групою генераторів туману, який знаходиться нижче поверхні води. Цей пристрій містить керамічний диск, який при активації вібрує з ультразвуковою частотою (1,7 МГц). Блок виробника туману має вбудований датчик рівня води, яка визначає, коли рівень води низький. Потім апарат відключиться, коли він наблизиться до руйнування поверхні води, яка охороняє його від вигорання [25].

Компанія DisplAir, взявши за основу технологію FogScreen, створила інтерактивну систему, що дозволяє маніпулювати віртуальними об'єктами, зображення яких спроектовані на стіну туману.

Основою системи DisplAir є інфрачервона камера, за допомогою якої вдається визначити і відстежити рух, більший за 1500 умовних точок на поверхні рук користувача. Точність положення рук, а отже розпізнавання жестів і рухів, складає близько 1 сантиметра. Час запізнювання реакції системи складає всього 0.2 секунди, які витрачаються на математичну обробку даних, одержуваних з камери.

Система DisplAir дозволяє користувачам виконувати всі ті дії, які може виконувати користувач з допомогою мультисенсорного дисплею; різниця полягає в тому, що в разі системи DisplAir користувач працює з віртуальними тривимірними об'єктами прямо в просторі за допомогою жестів пальців і рук. Малий час реакції системи, який, як зазначалося вище, становить 0.2 секунди, дозволяє реалізувати інтерактивні ігри з об'єктами в тривимірному просторі.



Рис.2 DisplAir

Проектоване зображення коливається разом з туманом, особливо помітно це по краях зображення. Так само через це визначення системою розташування пальців користувача залишає бажати кращого. Отже, розробникам компанії DisplAir доведеться ще чимало попрацювати, перш ніж їх система може стати на комерційні рейки.

Віртуальний екран системи DisplAir має діагональ 142 дюйма, а вартість таких екранів буде коливатися від 4 до 30 тисяч доларів. В даний час компанія DisplAir шукає інвесторів, які вкладуть свої кошти у виробництво тривимірних дисплеїв DisplAir, так що є ймовірність того, що такий інвестор знайдеться, а отже дисплей DisplAir зможе придбати собі кожен охочий [26].

Elliptic Labs розробили безконтактну систему управління, яка наразі працює лише із системою Вiндовс. Тут використовується ультразвук для швидкого зняття даних про розміщенні руки людини в просторі щодо екрану. Ви можете керувати системою за допомогою жестів, не торкаючись екрану пальцями, наприклад, змінювати активні вікна чи скроллити текст.



Рис.3 EllipticLabs

Дана система використовує менше енергії, ніж системи відстеження рухів за допомогою камери (як стверджують розробники, різниця становить близько 95%). За допомогою SDK можна створювати нові типи взаємодій (наприклад, вписати будь-який унікальний рух для певної дії). Можливе захоплення позиції руки з різних кутів по відношенню до екрану. Також наявне використання MEMS-мікрофонів та «Фільтру відлуння», що представляє собою окреме сприйняття руху руки в цілому, кисті та пальців [27].

1.3 Опис проблеми та висновки про актуальність роботи

Питання спрямованого випромінювання звукових хвиль завжди було актуальним як для вирішення технічних задач, так і для застосування в медицині та мультимедіа.

З розвитком сучасних мультимедійних технологій виникають потреби в розвитку альтернативних джерел звукових хвиль. Однією з таких вимог є спрямоване випромінювання звукових хвиль низьких частот для озвучування малих локальних зон простору в приміщеннях малого об'єму та створення ефекту рухомих об'єктів без використання багатоканальних акустичних систем об'ємного звуку.

Створити високоспрямований випромінювач з малою апертурою можливо лише для високочастотних хвиль і до того ж, зі зростанням частоти, спрямованість буде ставати все «гострішою».

Вирішення такої задачі прийшло з гідроакустики, де, для створення спрямованого низькочастотного звукового сигналу, використовується параметричний ефект, суть якого полягає в наступному: при взаємодії двох близьких за частотами високочастотних хвиль великої інтенсивності виникає низькочастотна хвиля. Цей ефект отримав назву «параметричний» і широко застосовується в рибопошукових системах та системах дослідження донних структур.

Донедавна параметричні системи використовувалися в бібліотеках, музеях, торгових центрах для озвучування локальної ділянки приміщення, а також військовими для надання тактичних команд малій бойовій групі на відкритому просторі.

Основною проблемою при проектуванні таких випромінювачів є поява гармонічних складових, що виникають внаслідок параметричної трансформації високочастотних хвиль в низькочастотній. Тому якісна трансляція акустичних сигналів потребує застосування попередньої обробки сигналів з метою мінімізації утворення спотворень. Наразі існує декілька

математичних моделей параметричного ефекту, та жодна з них не дає можливості повністю позбутися спотворень. До того ж, розрахунки поля параметричного випромінювача, проведені за нелінійною теорією, що застосовуються для гідроакустики (рівняння ХЗК), не корелюються з вимірюваннями у повітрі.

1.4 Формування ТЗ для майбутнього пристрою

Живучи в умовах карантину через хворобу COVID-19, по всьому світу підвищується інтерес до відеоігор, оскільки люди глобально обмежують контакти із зовнішнім світом. Таким чином, щодня зростає ринок реалізації, що супроводжується новими запитами та потребами користувачів.

Використання технології ультразвукової левітації в мультмедіі – дуже прогресивна та відповідальна місія. Невідомо, як та коли світ повернеться до нормального життя, та чи повернеться взагалі. Тому, вважаю, переконавшись на власному досвіді у період карантину, додавання тактильної реакції до голограми є дуже актуальним.

Пристрій повинен забезпечувати безконтактне відчуття дотику або відтворювати ефект левітації невеликого об'єкту.

Необхідно, щоб пристрій складався з персонального комп'ютера, блоку регулювання та фокусування УЗ пучка, матриці перетворювачів. ПК сформовує електричні коливання з конкретною частотою, які, в результаті фазової затримки після проходження через блок підсилення та фокусування, переходять на матрицю випромінювачів. Вид модуляції, фокусна відстань, та інтенсивність задаються на панелі ПК.

1.5 Вихідні технічні характеристики пристрою.

Відповідно до проведеної аналітичної роботи та аналізу раніше розроблених пристроїв (що використовують акустичні методи передачі тактильного мовлення, а саме – ультразвуку) та базуючись на теоретичних відомостях, отриманих в процесі аналізу, а також згідно висновків роботи [24], можна підсумувати, що для створення пристрою ультразвукової левітації об'єктів та для його використання як доповнення до смартфонів або інших пристроїв (що мають на меті передачу інтерактивного контенту були отримані необхідні основні технічні характеристики такого пристрою:

Табл.1

Радіаційний тиск, Па	1-2
Режими роботи	Імпульсний, постійний
Частота імпульсів ,Гц	50
Ефективна площа пучка в точці концентрації	0,5
Частота УЗ коливань ,кГц	40
Тривалість імпульсів, мс	2-10

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЛЕВІТАЦІЇ

2.1. Структурна схема та принцип роботи

Пристрій складається з матриці ультразвукових перетворювачів та блоку електронного управління променя, який керується з ПК. Розрахунок сфокусованого акустичного поля матриці проводився за методикою, запропонованою в роботах [7-9]. Дискретні випромінювачі розташовувалися на матриці по концентрованих кругах. Розрахунок поля ультразвуку був зроблений за сумою роботи окремих випромінювачів з урахуванням заданої фазової затримки.



Рис. 4 Прилад. Структурна схема

Управління через ПК блоку електронного створення пучка з комп'ютера дає можливість проводити фокусування ультразвуку та можливість формування радіаційного тиску в повітрі.

2.2. Обчислення рівня утвореного радіаційного тиску

Всім зрозуміло, що ультразвук утворює радіаційний тиск P_r . Його величина пропорційна щільності звукової енергії I , яка в свою чергу залежить від зміни ультразвукового тиску p , швидкості звуку c , щільності ρ в середовищі:

$$I = \frac{p^2}{\rho c^2}$$

У випадку, коли на траєкторії ультразвукових хвиль сформувати перепону, тоді на її поверхню діє тиск (радіаційний):

$$P_r = (1 + \xi^2)I = (1 + \xi^2) \frac{p^2}{\rho c^2} \quad (1)$$

Його підлягає під співвідношення акустичних імпедансів перепони $(\rho c)_2$ та середовища $(\rho c)_1$, і визначається коефіцієнтом відображення по тиску ξ :

$$\xi = \frac{(\rho c)_2 - (\rho c)_1}{(\rho c)_2 + (\rho c)_1}$$

Для більшості перешкод в повітрі $\xi = 1$, тому:

$$P_r = (1 + \xi^2)I = 2 \frac{p^2}{\rho c^2} \quad (2)$$

Необхідно розрахувати радіаційний тиск, який формується на перепоні в повітрі з такими умовами $\rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $c = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ультразвуковим випромінювачем.

Частота дорівнює 40кГц; ультразвуковий тиск $p = 10\text{Па}$ на дистанції 30 см та ефективній напрузі $U = 10\text{В}$.

Знаючи дані, отримані у [12-14], УЗ-перетворювач (представлений нижче), цілком є допустимим для сформованого ТЗ.



Рис.5. УЗ-перетворювач відкритого типу

Табл. 2.

Чутливість	58 ± 4 дБ
Рівень звукового тиску	115 дБ
Центральна частота	$40,0 \pm 1.0$ кГц
Типова ємність	$1900 \pm 20\%$ пФ
Робоча температура	$40 \sim +90$ °С
Напруга	40 В
Діаметр	12 мм
Температура зберігання	$40 \sim +85$ °С
Висота	5 мм
Робоча температура	$40 \sim +90$ °С

Візьмемо вираз (2), звідси шукаємо радіаційний тиск, що утворює обраний випромінювач: $P_r = 0,0013 \text{ Па} = 0,000013 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}$. Така величина є занадто малою для формування силового дії. Раніше було доведено, що мінімальний тиск, який відчувається людиною як дотик, становить (0.2-0.5) $\Gamma/\text{см}$. Сила тиску, яка є достатньою для сенсорних кнопок пристроїв, істотно більше та розташована в межах (10 ... 80) $\Gamma/\text{см}$. У таблиці (Таб.1) представлені величини радіаційного тиску, що були отримані за формулою (2), та рівня ультразвукового тиску L , обрахованого за допомогою наступного виразу:

$$L = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right), p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$$

Табл 3.

Радіаційний тиск, P_r		Рівень ультразвуку, L , дБ
$\Gamma/\text{см}^2$	Па	
0,0054	0,54	140
0,054	5,4	150
0,54	54	160
5.4	540	170

Для того, щоб отримати радіаційного тиску, який буде достатнім для силового дії на об'єкт, потрібно використовувати деяку кількість випромінювачів, при цьому необхідно забезпечити рівність фаз коливань для кожного окремого джерела в точці фокусування [13].

2.3. Обчислення матричного масиву для ультразвукового випромінювача

Спираючись на технічні вимоги (ТЗ), прилад розвиває на тілі людини силову дію, яка рівна радіаційному тиску величиною: (1-5) Па.

Дивлячись на дані з Табл.1. оберемо потрібний рівень випромінювання УЗ в повітрі - $L=145$ дБ.

Розрахуємо сумарну кількість УЗ перетворювачів, які необхідні для продукування рівня ультразвуку в $L=145$ дБ.

Оберемо УЗ-перетворювачі з наступними параметрами: частота резонансу 40 кГц, рівень ультразвукового тиску, який може випромінюватися одним перетворювачем в повітрі на відстані $r=300$ мм, складає 115 дБ, при рівні ефективної напруги 10 В, довжина хвилі 8,5 мм.

$$L_i = 115\text{дб} \rightarrow P_i = 10^{0,05L_i} \cdot p_0$$

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}\text{Па}$$

$$L_\Sigma = 145\text{дБ}$$

$$L_\Sigma = 20 \lg \sum_{i=1}^N \frac{p_i}{p_0} = 20 \lg \frac{N \cdot p_i}{p_0} = 20 \lg N + 20 \lg \frac{p_i}{p_0} = 20 \lg N + L_i$$

$$\lg N = \frac{L_\Sigma - L_i}{20}$$

$$N = 10^{\frac{\Delta L}{20}} = 10^{1,5} = 32$$

Звідси випливає, що для отримання 145 дБ необхідні 32 ультразвукові перетворювачі, і в точці спостереження повинно бути вирівнювання фаз коливань окремих джерел. Для формування пучка ми використовуємо масив із 32 випромінювачів з використанням технології фокусування [13]. Для фокусування звукового поля використовуються відбивачі, зонні пластини та

лінзи. Акустичне поле сегментованого сферичного перетворювача було детально вивчено в [14]. Такі системи концентрують звук у фіксованій зоні, що визначається геометрією пристрою. У медичній та технічній діагностиці використовуються плоскі матричні випромінювачі, які дозволяють просторово сканувати та фокусувати ультразвуковий промінь. Для сфокусованого ультразвукового променя використовуйте такі терміни (рис. 6):

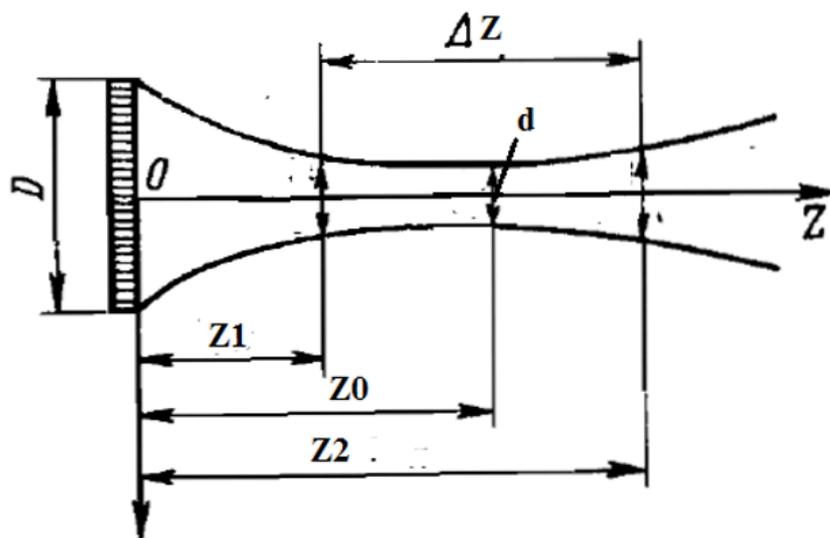


Рис.6 Параметри фокусування променя

D - апертура випромінювача, поверхня випромінювача, яка формує звуковий промінь;

Z_0 - фокусна відстань;

$Z_1, Z_2, \Delta Z$ - початок, кінець та протяжність області фокусування;

d та σ - переріз променя в фокальній площині та величина першого бокового пелюстка.

Початок та кінець акустичного променя в осьовому напрямку будемо оцінювати за зменшенням нормованого тиску до 0.707 від максимального значення в фокусі. Протяжність променя у фокальній області розраховуємо, наступним чином:

$$\Delta Z_f = Z_2 - Z_1$$

Ширину променя d знаходимо в радіальному напрямку за зменшенням нормованого тиску до 0.707 від максимального значення.

Розглянемо цифровий алгоритм розрахунку звукового поля плоских випромінювачів.

Обраховуємо зону Френеля за формулою:

$$R_\phi = \frac{d^2}{\lambda} = 17 \text{ м.м.}$$

Де,

d – діаметр окремого УЗ-перетворювача.

λ – довжина хвилі

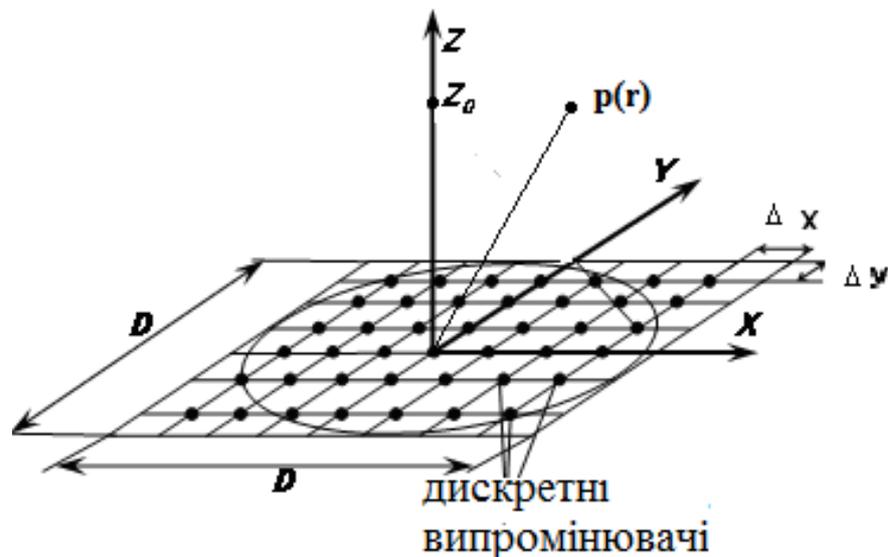


Рис.7. Модель матричного випромінювача

Для розрахунку зосередженого в одній точці звукового поля ми будемо працювати за декартовою системою координат. Розташовану в центрі матричного випромінювача (рис. 7). Матричне обладнання - D .

Малохвильові дискретні випромінювачі за кількістю точкових джерел $N * M$ розташовані у вузлах координатної сітки. Відстань між випромінювачами - це крок матриці $\Delta x = \Delta y$. Об'ємна швидкість одиночного дискретного випромінювача становить $Q = V\Delta S$. Поле оцінюється як сума внесків елементарних джерел з урахуванням введеної просторової затримки:

$$p(r) = \frac{\Delta S}{\lambda} \sum_n^N \sum_m^M \frac{\exp(-jk(r_{nm} + \Delta r_{nm}))}{r_{nm}}$$

Де $r_{nm}, \Delta r_{nm}$ - відстань від одиничного перетворювача з номером nm до точки фокусування та відповідно просторова затримка.

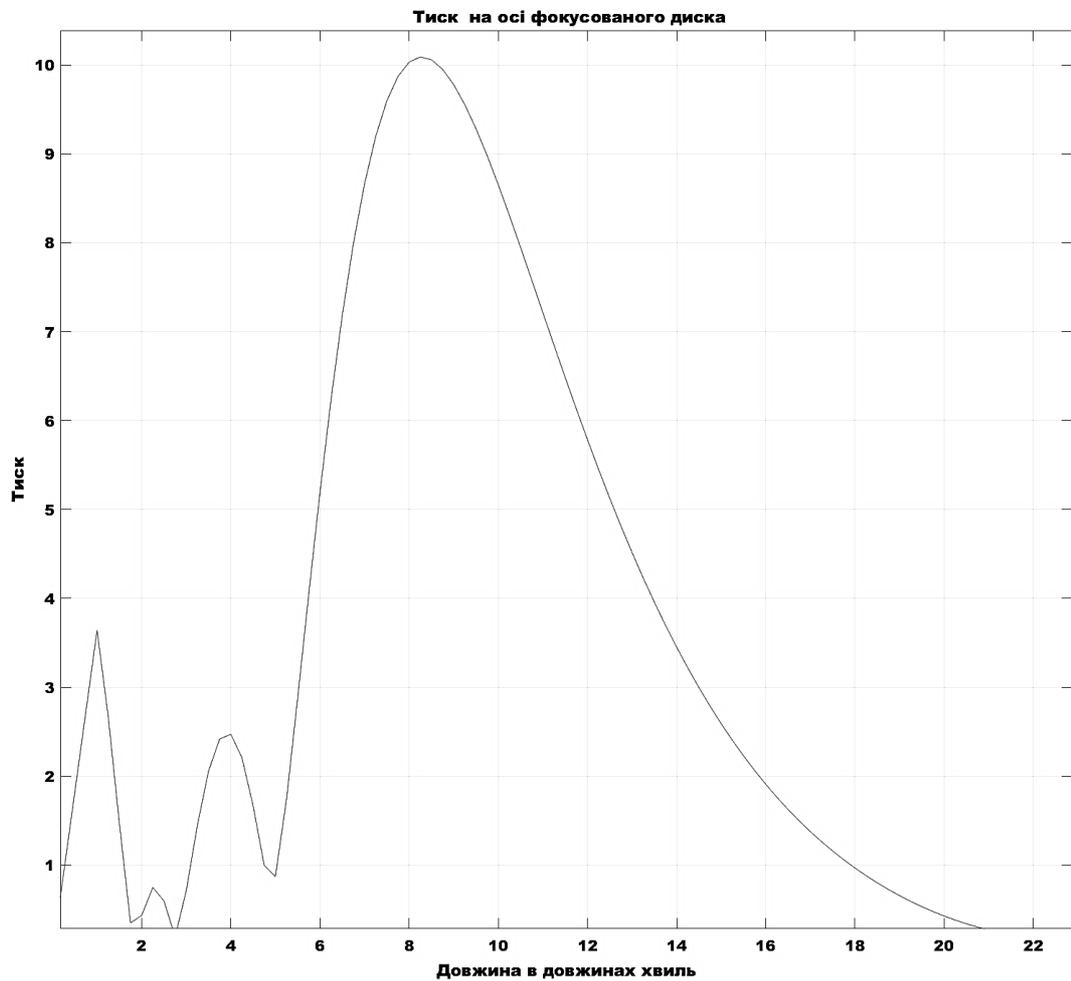


Рис.8 Розподіл тиску уздовж осі

Ось приклад. Обчисліть розподіл тиску вздовж осі дискового передавача з отвором $D = 10\lambda$.

Крива показує розподіл звукового тиску вздовж осі дискового передавача. Дифракційні ефекти переміщують точку максимального тиску до поверхні випромінювача. Фактична фокусна відстань стає меншою, ніж розрахована. Затримка збільшується у міру збільшення фокусу. Збільшення фактора фокусування збільшує довжину променя. Отже, після вибору точки фокусування, а отже, і фактора фокусування, ви можете сформулювати промінь необхідної рівномірної довжини відповідно до критерію максимального тиску 0,707. Наприклад, фокусуючи диск в точці $Z_0 = Z_f = 10\lambda$, $K_f = 1$, ми отримуємо акустичний промінь довжиною $Z_f = 25\lambda$ з тиском випромінювання, який майже в кілька разів перевищує тиск твердого поршневого випромінювача того самого отвіру.

Обчисліть фактичний ультразвуковий тиск у точці.

При відомому рівні тиску дискретного випромінювача $L_i = 115dB$ на відстані $R_i = 300mm$, розрахуємо рівень тиску на поверхні матриці

$$L_0 = L_i + 20\lg\left(\frac{R_i}{r_f}\right) = 115 + 20\lg\left(\frac{300}{4.7}\right) = 151dB$$

Де $r_f = 4.7mm$ - границя зони Френеля для дискретного випромінювача.

Ультразвуковий тиск у фокусі P_F перевищує середнє значення тиску на поверхні випромінювача P_0 в $K_p = 10$ разів, що дорівнює доданому

рівню тиску:

$$\Delta L = 20\lg\left(\frac{P_F}{P_0}\right) = 20dB$$

Враховуючи фокусуючу властивість матриці, що вираховується додаванням ΔL , розрахуємо рівень тиску L_F в точці фокусування:

$$L_F = L_0 + \Delta L = 170dB$$

Отриманий радіаційний тиск (табл.1) становить $P_r = 54Pa$, що є достатнім для переміщення легких об'єктів.

2.4. Ескізне конструювання пристрою

Для формування променя використаємо масив з 32 випромінювачів типу AW19T / R40-10OB01-01.

На верхній платі круглої матриці розміщувалися $n=32$ ультразвукових випромінювачів. Діаметр кожного перетворювача дорівнює $d = 12.6mm$. Випромінювачі розташовані по $N=7$ концентричних колах. Кожна група об'єднується в окремий електричний ланцюг.

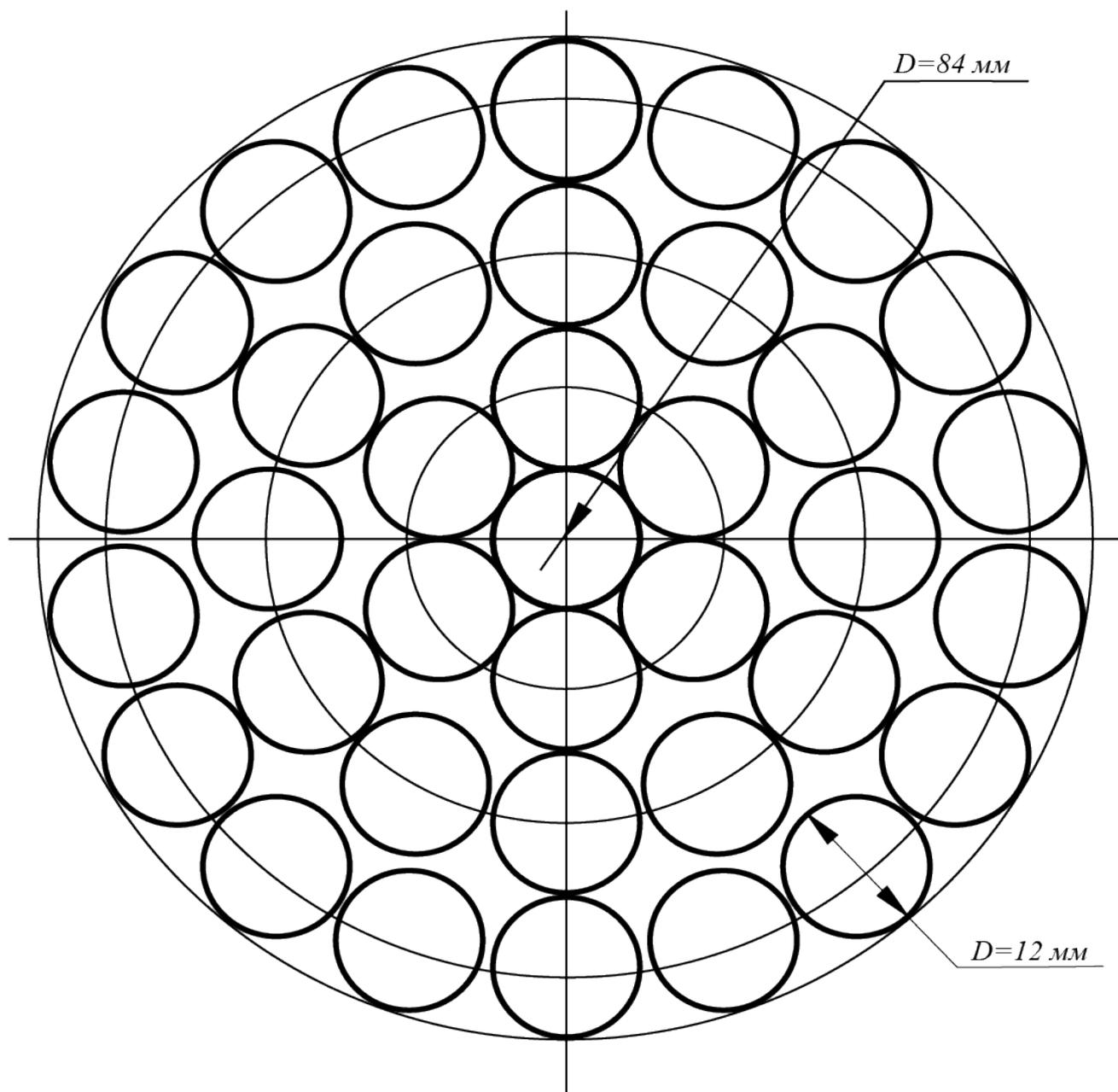


Рис.9. Кругова матриця УЗ випромінювачів при $N=32$.

Блок керування променем складається з плати процесора та плати підсилювачів. Процесор управляється з ПК по USB каналу. На виході процесора формується електричний сигнал прямокутної форми.

Виходи підсилювачів з'єднуються з групами випромінювачів. Програмне забезпечення дозволяє реалізувати безперервний та імпульсний режими генерації ультразвуку [14].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

3.1. Опис ідеї проекту

Розробка пристрою, що симулює тактильне відчуття на тілі користувача, не є новою, незважаючи на відносну молодість технологій та даної сфери загалом. В п.1.2. були наведені приклади успішних практичних застосувань технології передачі тактильних відчуттів у світі. Розроблений пристрій призначений для передачі тактильних відчуттів може бути представлений як повноцінний продукт, що має свої переваги, порівняно з розробками потенційних конкурентів.

В рамках дипломного дослідження буде реалізований наступний проект: повноцінний пристрій, який стане доповненням до вже існуючих девайсів, таких як смартфони, ПК або ігрові консолі. В даному розділі буде описано розробку стартап-проекту приладу для створення відчуття дотику на тілі людини. В табл 4.1 викладено зміст ідеї, що пропонується, можливі напрямки застосування ідеї, основні вигоди, що може отримати користувач з ідеї та основні відмінності ідеї від уже існуючих аналогів.

Табл. 3.1.

Ідея стартап-проекту

Зміст	Напрямки	Вигоди для споживача
Ультразвуковий тактильний пристрій може доповнити смартфон, передаючи одночасно з символами і знаками невербальну інформацію (відчуття) безпосередньо на тіло людини.	Доповнення смартфона для створення тактильних відчуттів	Можливість збільшити ефект присутності та занурення у процес при взаємодії з інтерактивним пристроєм.
	Створення процесу левітації об'єкта	Моделювання можливих невидимих платформ для демонстрацій, для використання на виставках, у музеях, салонах та інших будь-яких приміщеннях чи об'єктах.
	Створення невидимих платформ для безконтактної взаємодії	Можливість зменшити кількість торкань до будь-яких поверхонь при взаємодії користувача з ними.

Аналіз техніко-економічних плюсів ідеї (чим відрізняється від існуючих).

Попереднім оточенням аналогів є FogScreen, DisplAir, Elliptic Labs.

Табл 3.2.

Визначення сильних (Strong), слабких (Weak) та нейтральних (Neutral) характеристик приладу

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Моя робота	Аналоги			W	N	S
			1	2	3			
1	Можливість використовувати у покет-дивайсі	-	-	-	-		+	
2	Точково сфокусований промінь	+	-	-	-			+
3	Відсутність завади при використанні пристрою, що сковують або впливають на відчуття присутності в віртуальній реальності	+	-	-	-			+
4	Графічне доповнення для візуалізації процесу	-	+	+	+	+		

Визначений перелік слабких, нейтральних та сильних параметрів і властивостей майбутнього приладу є основою для аналізу його конкурентоспроможності. Основною перевагою розроблюваного проекту є відсутність завади при використанні пристрою, що сковують або впливають на відчуття присутності у віртуальній реальності, на чому й варто зробити основний наголос. Надалі слід взяти до уваги основний недолік

розроблюваного приладу, а саме необхідність додати графічне доповнення для візуалізації процесу.

3.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Табл. 3.3.

Технологічна можливість існування проекту

№	Ідея	Реалізація	Технології	Доступність
1	Ультразвуковий пристрій левітації об'єктів	Теорія ультразвукових хвиль	Є в наявності	Доступна
2		Дискретні ультразвукові перетворювачі	Є в наявності	Доступна
3		Теорія фокусування матриці дискретних перетворювачів в обрану точку у просторі	Є в наявності	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: завдяки використанню теорії ультразвукових хвиль, розробка та ескізне проектування матриці дискретних перетворювачів та її фокусування в обрану точку у просторі.

3.3. Аналіз ситуації на ринку для запуску стартап-проекту

Визначення можливостей, які можуть бути використані під час реалізації проекту на ринку, та ринкових загроз, які будуть перешкоджати проекту, дозволяє планувати розвиток проекту з урахуванням ринкового

середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозиції щодо конкуруючих проектів. У Табл. 3.4 представлений попередній опис потенційного ринку розробленого проекту.

Табл. 3.4.

Підготовча оцінка потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	<10
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Сфера доповнення девайсів технологією передачі тактильних відчуттів, знаходиться на етапі стрімкого зросту
3	Обмеження для входу	Невелика кількість відомих конкурентів як в сфері моделювання передачі тактильних відчуттів, так і тих, хто створює пристрій з використанням ультразвуку для левітації об'єктів
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандартизацією в сфері займаються організація IEEE

Табл. 3.5.

Характеристика можливих майбутніх клієнтів проекту

№	Потреба (формує ринок)	ЦА	Різниця у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги клієнтів до товару
1	Хвороба COVID-19. Через поширення хвороби, зростає необхідність у безконтактній взаємодії людини з об'єктами	Приватні компанії, комунальні підприємства, що збираються впроваджувати безконтактну взаємодію	Розміри потенційних девайсів та нескладний функціонал (кнопки, індикатори та ін.)	Необхідність зручного налаштування девайсу та встановлення його в місяцях призначення
2	Стрімкий розвиток технологій у сфері інтерактивних девайсів	Корпоративні клієнти приватних компаній у сфері інтертейменту	Порівняно складний функціонал з великою кількістю задач.	Малі розміри, багатозадачність. Можливість фокусування одразу в декілька точок
3	Необхідність попереднього тестування та моделювання під окремі пристрої	Дослідники	Безпосереднє використання для тестування моделей, розробка нових алгоритмів та дослідження особливостей побудови пристроїв	Зручне відображення роботи, можливість конфігурації вузлів, зміни їх функціоналу

Табл. 3.6.

Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Стрімкий розвиток технологій	На даний момент існує велика кількість схожих прототипів, тому є загроза не реалізувати проект на достойному рівні	Миттєва реакція на побажання потенційних клієнтів
2	Вузький спектр функціоналу і можливостей	Через необхідність швидкого виходу на ринок, повинні бути реалізовані всі основні функції аби забезпечити усе необхідне для користувачів	Пауза перед виходом на ринок, задля розширення базового набору на момент старту поширення приладу
3	Економічний	Через фінансову обмеженість та накладки	Побудова збалансованого бізнес-плану із спробою зацікавити спонсорів

Табл. 3.7.

Фактори потенційних можливостей

№	Фактор	Можливості	Реакція компанії
1	Залучення інвестицій	Маючи чіткий бізнес-план, ви можете залучити інвесторів, що збільшить персонал і пришвидшить час виходу на ринок.	Збільште персонал, пришвидшіть вихід на ринок, введіть термін окупності раніше
2	Розширення бази клієнтів	За допомогою продуманої PR-кампанії ви можете залучити клієнтів від своїх конкурентів, запропонувавши їм кращі умови.	Сплануйте рекламну кампанію, організуйте презентації та семінари з інтерактивністю на пристроях, в яких розроблений продукт буде використаний для демонстрації
3	Заклучення договорів	Укладання контрактів на надання послуг та використання технологій	Отримати зв'язки з потенційними клієнтами та використовувати розроблюваний проект для виконання визначених ідей

Табл. 3.8.

Аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Проявлення	Кроки компанії
Складність входу на ринок	Ринок не новий, і велика кількість конкурентів вже зміцнили свої позиції, встановили зв'язки та встановили клієнтів.	Запропонувати більш вигідні умови (навіть з можливістю роботи без прибутку), проаналізувати та впровадити нові розробки в галузі мереж перед конкурентами, якісну рекламну кампанію

Загальнодоступність інформації	Стандарти таких технологій розроблюються міжнародними організаціями і після оприлюднення доступні для всіх	Важливо підготувати оновлення якомога швидше після публікації стандартів, щоб мати перевагу над конкурентами
Схожість продуктів-замінників	Оскільки товари на обраному ринку виконують практично однакову функцію, важко суттєво відрізнити від конкурентів	Експериментуйте з ідеями нових оновлень, впроваджуйте нові рішення в найкоротші терміни

Табл. 3.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти в галузі	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	FogScreen, DisplAir, Elliptic Labs та інші	Elliptic Labs	Cisco, Tetcos	Приватні компанії, комунальні підприємства	-
Висновки:	Існує велика кількість різноманітних рішень у конкурентів	Є маса пристроїв, що можуть виконувати такі ж операції	Постачальники є світовими лідерами в галузі мережевого обладнання	Більшість клієнтів працюють на ринку вже давно і налагодили контакти з постачальниками	Безкоштовних рішень або товарів-замінників на ринку немає, адже технологія є не з простих

Табл. 3.10.

Обґрунтування конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Зрозумілий та багатий функціонал	Оскільки проєкт знаходиться в стадії розробки, ви можете врахувати переваги та недоліки конкурентів, щоб перед виходом на ринок мати більше можливостей, ніж інші для користувача
2	Забезпечення інтеграції в існуючі пристрої	Більшість з конкурентів розробляють пристрій під конкретну задачу. Створення пристрою з можливістю інтеграції в існуючі пристрою, розширить клієнтську базу
3	Швидкий фідбек для користувачів	На стадії розробки неможливо передбачити всі нюанси застосування. Швидко реагуючи, ви можете використовувати користувачів як бета-тестери, що дозволить швидко адаптувати пристрій до потреб реальних клієнтів

Табл. 3.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор	Бали від 1 до 20	Рейтинг аналогів						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Широкий та зрозумілий функціонал	12			✓				
2	Забезпечення інтеграції в існуючі пристрої	17		✓					
3	Швидкий фідбек для користувачів	10				✓			

Таблиця 3.12.

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: Широкий та зрозумілий функціонал Можливість врахування досвіду конкурентів Забезпечення інтеграції в існуючі пристрої Швидке реагування на побажання клієнтів</p>	<p>Слабкі сторони: Велика кількість конкурентів Недовіра великих клієнтів</p>
<p>Можливості: Отримати контракти на моделювання та тестування пристрою</p>	<p>Загрози: Програти конкуренцію великим компаніям Не переманити клієнтів конкурентів</p>

Таблиця 3.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива поведінки ринкової	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Відкриття та розповсюдження проекту за ліцензією з відкритим кодом	Низький, оскільки в основному це будуть пожертви ентузіастів. Можливість продажу компанії у разі зацікавлення з боку великих компаній	Миттєво
2	Поширення проекту через конференції, публічні виступи	Висока, оскільки публічні заходи можуть поширити ідею проекту та пізнати потенційних інвесторів та клієнтів	До року

3	Участь у тендерах та укладання угод з державними органами	Середній, оскільки на нього впливають економічні, політичні, особисті причини, а також абсолютна прозорість та чесна конкуренція на цьому ринку не можуть бути гарантовані	Кілька місяців
---	---	--	----------------

3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Табл 3.14.

Вибір цільових груп серед клієнтів

№	Опис профілю клієнта	Готовність для сприйняти продукту	Приблизний запит в межах обраного сегменту	Конкуренція	Вхід у сегмент
1	Приватні компанії, комунальні підприємства,	Готові сприйняти негайно	Продукт необхідний уже	Середня конкуренція	Помірно-складний вхід
2	Корпоративні клієнти приватних компаній у сфері інтертейменту	Не всі готові прийняти	Продукт не для всіх	Конкуренція висока	Вхід складний
3	Дослідники	Користувачі готові прийняти продукт	Не всі зацікавлені в продукті	Конкуренція середня	Вхід не є складний

Які цільові групи обрані:

Необхідно працювати з усіма цільовими групами, надавати перевагу приватним компаніям

Табл. 3.15.

Обрання початкової стратегії розвитку

№	Альтернатива розвитку проекту	Стратегія	Ключові позиції відповідно до обраного розвитку	Основна стратегія
1	Розробка за допомогою маркетингової кампанії та публічної демонстрації можливостей товару	Впливати на вибрані цільові групи в порядку важливості та перспектив	Виступи на конференціях, безкоштовне розповсюдження в навчальних та дослідницьких цілях	Швидко оновіть товар відповідно до побажань замовника

Табл. 3.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект засновником сектору на ринку?	Компанія шукає нових споживачів чи конкурує з існуючими?	Компанія копіює основні параметри продукту конкурента:	Стратегія
1	Ні, проект не є «першо-прохідцем»	Вам потрібно йти в різних напрямках, як для пошуку нових споживачів, так і для вибору існуючого серед конкурентів.	Через подібність функціональних можливостей компанія скопіює основні характеристики конкурентів	Запропонуйте подібні функціональні можливості за найкращих умов, оновіть їх відповідно до нових стандартів

Таблиця 3.17.

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару	Базова стратегія розвитку	Основні конкурентні позиції власного стартового проекту	Вибір асоціацій, які повинні скласти загальну позицію для власного проекту (три ключі)
1	Висока частота оновлення, розширена функціональність, Малий розмір	Розширюйте персонал, шукайте новини щодо випуску нових стандартів та протоколів	Швидке виправлення недоліків та реалізація побажань	Виставкові центри, музеї, геймери, користувачі смартфонів.

3.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 3.18.

Ключові переваги потенційного продукту

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Доповнення смартфона для створення тактильних відчуттів	Можливість збільшити ефект присутності та занурення у процес при взаємодії з інтерактивним пристроєм	Широкий та зрозумілий функціонал
2	Створення процесу левітації об'єкта	Моделювання можливих невидимих платформ для демонстрацій, для використання на виставках, у музеях, салонах та інших, будь-яких приміщеннях об'єктів.	Можливість врахування досвіду конкурентів

3	Створення невидимих платформ для безконтактної взаємодії	Можливість зменшити кількість торкань до будь-яких поверхонь при взаємодії користувача з ними.	Забезпечення інтеграції в існуючі пристрої
---	--	--	--

Таблиця 3.19.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари конкурентів	Рівень цін на аналоги	Рівень доходів досліджуваного споживача	Верхня та нижня межі ціни на пристрій
1	0\$ - 800\$	0\$-900\$	>1000\$/місяць	200 \$ - 400 \$

Таблиця 3.20.

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Придбайте ліцензію на товар або контракт на послугу без передачі матеріалів замовнику	Перевезення товарів до магазинів продажу, розміщення в електронних розподільчих центрах	Канал продажів є однорівневим (через роздрібну дистрибуцію)	Вертикальна (власності залишається у винахідника)

Таблиця 3.21.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Поведінка цільових клієнтів	Канали комунікації	Ключові позиції	Завдання реклами	Суть рекламного звернення
1	Купують товар, якщо є необхідність	Конференції, презентації інше	Надання послуг тестування пристроєм	Демонстрація основних функцій розробленого пристрою	Охоплення аудиторії, пояснення функцій та можливостей розроблено-го продукту та його переваг

Висновки до розділу 3

Третій розділ присвячений розробці стартап-проекту для розроблюваного пристрою.

Проведено технічний аудит проекту та визначено можливості реалізації програмного продукту.

Отже, було представлено основні характеристики стартап-проекту, що дозволить запустити розроблений пристрій на ринок, а також, під час аналізу, удосконалено навички створення стартап-проектів і побудови маркетингової стратегії й аналізу обраного ринку.

ВИСНОВКИ

У роботі розглядається метод створення сили в повітрі за допомогою сфокусованого УЗ високої інтенсивності.

Наведено розрахунки тиску ультразвукового випромінювання. Представлено результати комп'ютерного моделювання ультразвукового поля та комп'ютерної обробки даних. Надано опис фізичних експериментів та проаналізовані отримані результати. В області фокусування отримано радіаційне тиск величиною 57 Па.

Представлені результати можуть бути використані при розробці тактильних пристроїв та віддалених пристроїв для мультимедійних та телекомунікаційних систем.

Отримані результати підтверджують можливість створення пристроїв з комп'ютерним управлінням, для локалізованого силової дії ультразвуку в повітрі. Такий пристрій дозволить створювати істотно більше ультразвукове значення.

Основною перевагою ультразвукового методу є можливість створення локальної силової дії безконтактно.

Ультразвук генерується масивом з 32 повітряних передавачів, що працюють на частоті 40 кГц, промінь управляється програмним забезпеченням з ПК. Тиск випромінювання в точці АФ становив 57 Па, що дозволяє рухати легкі предмети і відчувати тактильний ефект ультразвуку.

В умовах карантину через хворобу COVID-19, по всьому світу підвищується інтерес до відеоігор та інтерактивного контенту, оскільки люди обмежують контакти із зовнішнім світом. Таким чином, щодня зростає ринок реалізації, а це супроводжується новими запитами та потребами у користувачів.

Використання технології ультразвукової левітації в мультимедіа – дуже прогресивна та відповідальна місія. Невідомо, як та коли світ повернеться до нормального життя та чи повернеться взагалі. За результатами проведеного

дослідження можна стверджувати, що додавання тактильної реакції до голограми є дуже актуальним.

Представлена розробка стартового проекту для розробленого пристрою, представлений опис ідеї проекту, проведений детальний аналіз аналогів та можливостей, що є на даному ринку. Для досліджень в рамках розробки проекту було дано загальний опис проектної ідеї виходу на ринок, описано функціональність проекту, визначені основні конкуренти та функціональні можливості порівнювали конкурентів, що дало змогу визначити переваги розробленого продукту.

Отже, в ході дипломної роботи був проведений аналітичний огляд застосування ультразвуку у різних сферах діяльності, на основі чого було виведено технічні характеристики пристрою для левітації об'єктів та безпосередньо розраховано ультразвуковий радіаційний тиск і матричний ультразвуковий випромінювач. Також було представлено ескізне конструювання пристрою та розроблено стартап-проект, що дозволить запуснути даний пристрій на ринку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. S. Naida, V. Didkovsky, V. Zaets. Experimental Study into the Helmholtz Resonators' Resonance Properties over a Broad Frequency Band // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, pp. 34-39, 1/5 (97), 2019. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155417>
2. Sergey Naida, Olha Pavlenko. Newborn Hearing Screening Based on the Formula for the Middle Ear Norm Parameter. Proc. of IEEE 38th Int. Sc. Conf. Electronics and Nanotechnology (ELNANO), pp. 287-291, 2
3. Didkovsky, V. Zaets. Experimental Study into the Helmholtz Resonators' Resonance Properties over a Broad Frequency Band // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, pp. 34-39, 1/5 (97), 2019. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155417>
4. Хилл К. Р., Бэмбер Дж., тер Хаар Г. ред. Ультразвук в медицине. Физические основы применения. / Пер. с англ. — М.: «Физматлит», 2008. — 544 с.
5. Сусленко Є. «Ультразвуковий масажер для профілактики захворювань ока» червень 2018, Київ, Україна. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28348/1/Suslenko_bakalavr.pdf
6. T.Hoshi: Handwriting Transmission System Using Noncontact Tactile Display. In: IEEE Haptics Symposium 2012, pp. 399–401 (2012).
7. P. R. Stepanishen, "Transient radiation from pistons in an infinite planar baffle," J. Acoust. Soc. Am. 49(5), pp. 1629-1638, February 1971.
8. A. Penttinen and M. Luukkala, "The impulse response and pressure nearfield of a curved ultrasonics radiator," J. Phys. D., Vol. 9, pp 1547-1557, 1976.
9. [M. A. Fink and J.-F. Cardoso, "Diffraction effects in pulse-echo measurement," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol SU-31, pp. 313-329, July 1984.
10. S.Kozeruk. Modeling of acoustic beam for location with high resolution. 5th International Universal Communication Symposium, October 12-14, 2011, Gumi, Korea.

11. J. A. Jensen and N. B. Svendsen, "Calculation of pressure fields from arbitrarily shaped, apodized, and excited ultrasound transducers," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec, Freq. Contr.*, vol 39, no. 2, pp 262-267, March 1992
12. [D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, *Array Signal Processing - Concepts and Techniques*, Prentice-Hall, 1993
13. B. A. J. Angelsen, *Waves, Signals and Signal Processing in Medical Ultrasonics vol I and II*, Department of Physiology and Biomedical Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 1996.
14. S.Kozeruk. Modeling of focused acoustic field of plane matrix oscillator, in: *Proceedings of the 31 International Scientific-Technical Conference Electronics and Nanotechnology*, April 12-14, 2011, Kyiv, Ukraine, pp. 171.
15. S. Holm, "Simulation of Acoustic Fields from Medical Ultrasound Transducers of Arbitrary Shape," *Proc. Nordic Symp. in Physical Acoustics*, Ustaoset, Norway, Jan. 1995
16. S. Holm and B. Elgetun, "Optimization of the beampattern of 2D sparse arrays by weighting, " in *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, Seattle, Washington, Nov. 1995.
17. L. Odegaard, "Phase aberration correction in medical ultrasound imaging," *Dr. Ing. dissertation*, Norwegian Institute of Technology, 1996.
18. Дамарад А.В., Найда С.А. Визначення резонансних частот слухової системи людини за допомогою об'єктивних методів дослідження слуху // *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*. Т.24, №1, 2019. – С. 72-78. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.1.165813>
19. S. Kozeruk, O. Kratko, G. Pukha . Computer Technology in Modeling and Experiment Problems with Powerful Ultrasound in Air, in: *Computer Technology and Application* 4(2013),17-22.

20. Sergey Naida, Nikita Naida, Vitalii Didkovsky, Olha Pavlenko. Objective Audiometry Based On The Formula Of The Middle Ear Parameter: A New Technique For Researches And Differential Diagnosis Of Hearing// Proc. of IEEE 39th Int. Sc. Conf. Electronics and Nanotechnology (ELNANO), pp. 425-428, 16-18 April 2019, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2019.8783502>
21. Sergey Naida, Olha Pavlenko. Coupled Circuits Model in Objective Audiometry. Proc. of IEEE 38th Int. Sc. Conf. Electronics and Nanotechnology (ELNANO), pp. 281-286, 24-26 April 2018, Kyiv, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477557>