

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

Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

«На правах рукопису»
УДК 616.71-007.234

До захисту допущено:

Завідуюча кафедрою

Віктор АНТОНЮК

«10» 12 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
виробництва приладів»

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

на тему: «МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ
ОРГАНІЗМУ»

Виконала:

студентка II курсу, групи ПБ-392мп
Смолка Альона Сергіївна

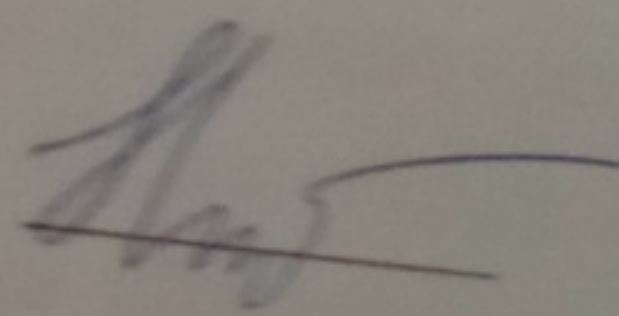
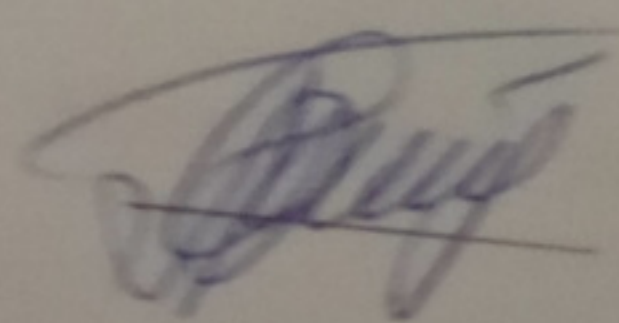
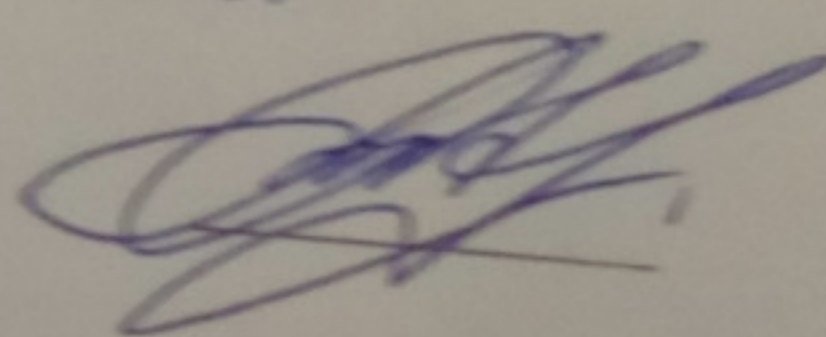
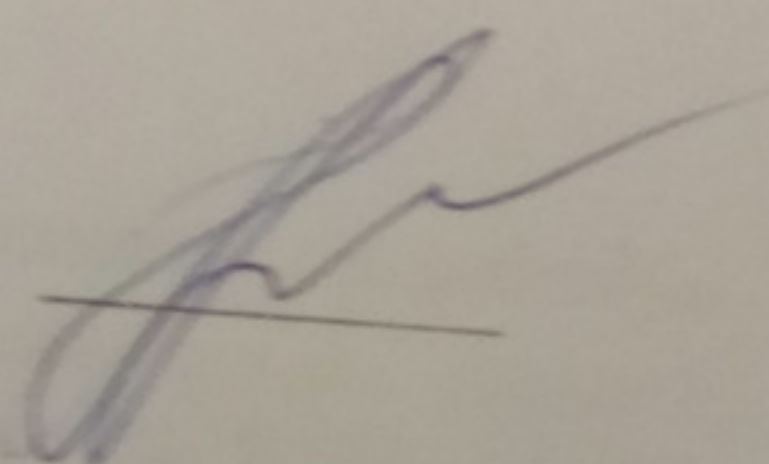
Науковий керівник:

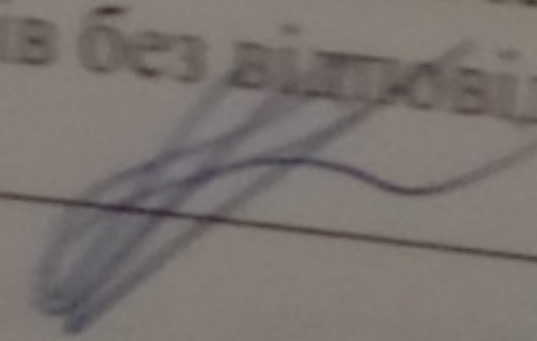
старший науковий співробітник, к.т.н, доцент,
Ключко Тетяна Реджинальдівна

Консультант з Розроблення стартап-проекту:
доцент кафедри менеджменту, д.е.н, доцент,
Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:

доцент кафедри ООЕП ПБФ, к.т.н,
Кучеренко Олег Константинович



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студентка 

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Віктор АНТОНЮК

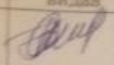
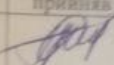
«26» 10 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Смолці Альоні Сергіївні

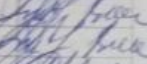
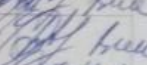
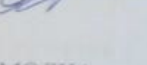
1. Тема дисертації «Метод визначенні щільності кісткової тканини організму», науковий керівник дисертації Клочко Тетяна Реджинальдівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020 р. № 3228-с
2. Термін подання студентом дисертації 09 грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження: кісткова тканина організму.
4. Вихідні дані: предмет дослідження - остеопороз, остеопенія, методи визначення та діагностики порушень в кістковій тканині.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Огляд основної літератури; 2) Аналіз методів дослідження та їх впливу на організм; 3) Огляд вибраного методу; 4) Спосіб підвищення точності роботи вибраного та обгрунтованого методу; 5) Запропонувати методи автоматизації процедури; 6) Проведення та аналіз експериментальних досліджень; 7) Зробити висновки загальні за результатами досліджень.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: зображення, схеми, таблиці.
7. Орієнтовний перелік публікацій: наукова стаття.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., д.с.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	05.09.2020 - 15.09.2020р.	
2	Постановка задачі дослідження	16.09.2020 - 25.09.2020р.	
3	Аналіз методів діагностики	25.09.2020 - 05.10.2020р.	
5	Розробка та опис вибраного рішення	05.10.2020 - 05.11.2020р.	
6	Проведення експериментальних досліджень	05.11.2020 - 15.11.2020р.	
7	Аналіз та обробка результатів	15.11.2020 - 20.11.2020р.	
8	Розробка стартап-проекту	20.11.2020 - 30.11.2020р.	
9	Підготовка ПЗ	30.11.2020 - 05.12.2020р.	

Студент

Альона, СМОЛКА

Науковий керівник

Тетяна, КЛОЧКО

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 103 сторінки.

Кількість ілюстрацій: 15 ілюстрацій.

Кількість таблиць: 46 таблиць.

Кількість джерел за переліком посилань: 40 джерел.

Актуальність теми

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, патологія кісткової тканини займає четверте місце серед найпоширеніших медико-соціальних проблем як в нашій країні, так і у всьому світі. Насамперед, обумовлюють таку актуальність проблеми її висока розповсюдженість, великий процент травматичності та інвалідність, як наслідки через несвоєчасні діагностику та лікування.

В Україні остеопороз виявлено більше ніж у 13% жіночого та майже у 3% чоловічого населення. З віком частка людей, яким ставлять діагноз остеопороз, збільшується в 4 рази для жінок, та в 7 разів для чоловіків. Основним наслідком остеопорозу є небезпека виникнення переломів, навіть при незначній травмі. Найбільш небезпечними є переломи хребців і шийки стегнової кістки, які можуть трапитися при підйомі або пересуванні важких предметів, або навіть під час крутої їзди. Зазвичай, людей з остеопорозом нічого не турбує в стані їхнього організму, тому першою ознакою хвороби може бути вже безпосередньо сам перелом.

Зв'язок роботи з науковими програмами

Робота за темою дисертації виконувалась у відповідності до календарного плану за науково – дослідною роботи за календарним планом, НДР «Створення фундаментальних принципів комп'ютерно-інтегрованої діагностики стану біотехнічних об'єктів», ДР 0116U006058 – в якості прикладів створення принципів автоматизованих медичних систем.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – метою дослідження є покращення діагностики порушень мінеральної щільності кісткової тканини шляхом удосконалення існуючого методу дослідження.

Завдання дослідження:

- 1) Оцінити дані денситометрії з метою діагностики остеопенії та остеопорузу на підставі проведеного огляду та аналізу методів дослідження.
- 2) Обґрунтувати найбільш оптимальний, з огляду на достовірність та безпеку впливу на біологічні об'єкти, метод визначення мінеральної щільності кісткової тканини.
- 3) Удосконалити обґрунтований метод дослідження для підвищення точності діагностики.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є кісткова тканина організму.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є остеопенія, остеопороз, методи визначення та діагностики порушень в кістковій тканині.

Методи дослідження

Під час виконання роботи використовувались такі методи дослідження як: клінічні дослідження, ультразвукова діагностика, оглядова рентгенографія, лабораторні та загально-клінічні показники.

Методика реалізації поставлених задач

Поставлені задачі можуть бути вирішені шляхом аналізу загально-клінічних показників, методом математичного моделювання, вибором та розробкою рішення для удосконалення методу діагностики та дослідження щільності кісткової тканини організму.

Наукова новизна:

Удосконалено метод визначення порушень в ультразвукових денситометрах, автоматизація процесів під час обробки і отримання результатів

Публікації:

1. XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури, 2020, на секційному засіданні, у доповіді «Метод визначення щільності кісткової тканини організму».

Ключові слова: остеопороз, ультразвукова діагностика, денситометрія, мінеральна щільність кісткової тканини.

ABSTRACT

Scope of work: 103 pages.

Number of illustrations: 15 illustrations.

Number of tables: 46 tables.

Number of sources in the list of links: 40 sources.

Actuality of theme

Bone pathology, according to the World Health Organization, ranks fourth among the main medical and social problems in Ukraine and around the world, after cardiovascular disease, cancer and diabetes. First of all, the urgency of the problem is due to its high prevalence, high percentage of injuries and disability, as consequences due to late diagnosis and treatment.

In Ukraine, osteoporosis is found in more than 13% of women and almost 3% of men. With age, the proportion of people diagnosed with osteoporosis increases 4 times for women and 7 times for men. The main consequence of osteoporosis is the risk of fractures, even with minor injury. The most dangerous are fractures of the vertebrae and neck of the femur, which can occur when lifting or moving heavy objects, or even during a steep ride. Usually, people with osteoporosis are not worried about the condition of their body, so the first sign of the disease may be the fracture itself.

Connection of work with scientific programs

The work on the topic of the dissertation was performed in accordance with the calendar plan for research work according to the calendar plan, R&D "Creation of fundamental principles of computer-integrated diagnostics of biotechnical objects", DR 0116U006058 - as examples of creating principles of automated medical systems.

The purpose and objectives of the study

The purpose of the study - the purpose of the work is to improve diagnosis violations of bone mineral density by improving the existing method of research.

Objectives of the study:

- 1) Evaluate densitometry data for the diagnosis of osteopenia and osteoporosis on the basis of examination and analysis of research methods.
- 2) To substantiate the most optimal, given the reliability and safety of the impact on biological objects, the method of determining bone mineral density.
- 3) Improve a sound research method to improve the accuracy of diagnosis.

Object of study

The object of study is the bone tissue of the body.

Subject of study

The subject of the study is osteopenia, osteoporosis, methods for determining and diagnosing disorders in bone tissue.

Research methods

During the work the following research methods were used: clinical examinations, ultrasound diagnostics, review radiography, laboratory and general clinical indicators.

Methods of realization of the set tasks

The tasks can be solved by analyzing the general clinical indicators, the method of mathematical modeling, selection and development of solutions to improve the method of diagnosis and study of bone density of the body.

Scientific novelty:

Improved method for determining violations in ultrasonic densitometers, automation of processes during processing and obtaining results

Publications:

1. XVI All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency and automation of engineering solutions in instrument making", December 08-09, 2020 - K .: PBF, KPI. Igor Sikorsky, Center for Educational Literature, 2020, at a section meeting, in the report "Method of determining the density of bone tissue of the body."

Key words: osteoporosis, ultrasound diagnostics, densitometry, bone mineral densit

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
Розділ 1. Основні поняття остеопорозу.....	13
1.1. Остеопороз.....	13
1.2. Фактори ризику.....	15
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	18
Розділ 2. Методи дослідження.....	19
2.1. Методи визначення денситометрії.....	19
2.2. Ультразвукова кісткова денситометрія.....	20
2.3. Двох-енергетична рентгенівська денситометрія.....	21
2.4. Периферична кісткова денситометрія.....	22
2.5. Двох-фотонна абсорбціометрія.....	23
2.6. Кількісна комп'ютерна денситометрія.....	24
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 та задачі дослідження.....	25
Розділ 3. Експериментальні дослідження.....	26
3.1. Вибір п'єзoelementу випромінювача та розрахунок параметрів.....	26
3.2. Еквівалентна схема акустичного тракту.....	30
3.3. Автоматизація технології вимірювання щільності кісткової тканини.....	45
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	47
Розділ 4. Розробка стартап-проекту «Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза організму».....	48
4.1. Ідея стартапу та її розвиток у продукт.....	48
4.2. Формування команди стартап.....	59
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту та розробка ринкової стратегії проекту.....	61
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	72
4.5. Планування реалізації стартап-проекту.....	75

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85
ДОДАТОК А «Акт впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської дисертації».....	90
ДОДАТОК Б «Список наукових та навчально-методичних праць».....	92
ДОДАТОК В «Матеріали презентації».....	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

ОП – остеопороз

IOF – Міжнародний фонд остеопорозу (International Osteoporosis Foundation)

DXA – рентгенівська остеоденситометрія

МЩКТ – мінеральна щільність кісткової тканини

SD – показник стандартного відхилення МЩКТ від норми (Т-критерій)

КТ- кісткова тканина

ІМТ – індекс маси тіла

3D QCT – комп'ютерна томографія

ОК – об'єкт контролю

БТ – біологічний тканина

БО – біологічний об'єкт

РС перетворювач – роздільно-суміщеного перетворювача

ВСТУП

Одним із найпоширеніших медико-соціальних проблем в світі, на даний момент, є захворювання порушення та патології кісткової тканини організму - остеопороз. Хвороба вважається «тихою», адже, найчастіше, ніяких ознак не проявляється до самого першого перелому. Несвоєчасна діагностика загрожує травматизмом та інвалідністю при особливо важких випадках у більш старшого покоління. В Україні остеопороз виявлено у 13,4% жіночого та 2,9% чоловічого населення. З віком частка хворих на остеопороз збільшується до 22% у чоловіків та 53% у жінок [1, 2].

Остеопороз - системне метаболічне захворювання скелету, яке прогресує з віком серед населення України. В наших кістках містяться мінеральні речовини, які надають їм твердості і щільності, основну частину яких займають кальцій та фосфор. Зменшення вмісту мінеральних речовин у всіх кістках скелета є основною характеристикою остеопороза. Тому вчасна діагностика та профілактика цього захворювання допоможе знизити медико-соціальні наслідки, а також знизити процент хворих в країні.

У сучасному медичному приладобудуванні багато уваги приділяють вдосконаленню роботи діагностичних приладів. Метою магістерської дисертації є удосконалення найбільш оптимального методу визначення щільності кісткової тканини організму, а також автоматизувати деякі процеси діагностики для покращення роботи усього процесу постановки діагнозу. В процесі виконання буде розглянуто та вивчена необхідна для цього література.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ОСТЕОПОРОЗУ

1.1 Остеопороз

Остеопороз (від грецького «ostéon» – кістка і «rógos» – отвір, пора) – системне захворювання скелета, що характеризується зменшенням кісткової маси тканини, порушенням мікроархітекτονіки кістки, що призводить до підвищення крихкості кісток і збільшення ризику переломів [3].

Втрата кісткової маси починає прогресувати у віці після 30 років. Частіше хворіють жінки, особливо після настання менопаузи, у віці 45–55 років. Втрата кісткової маси посилюється в постменопаузальний період через дефіцит естрогенів, що призводить до підвищеної крихкості кісток скелета. Це збільшує ризик перелому. За даними Міжнародного фонду остеопорозу (IOF) кількість жінок в Україні в постменопаузальний період, які мають остеопороз та остеопенію, становить 7 мільйонів (28% від загальної кількості жінок) [4].

Оцінка стану кісткової тканини на сучасному етапі базується на лабораторно-інструментальних та променевих методах. DXA (Рентгенівська остеоденситометрія), що визнана ВООЗ як «золотий стандарт» діагностики остеопорозу, визначає мінеральна щільність кісткової тканини (МЩКТ), візуалізуючи поперековий відділ хребта та проксимальний відділ стегна [5, 6].

Низька МЩКТ є основним кількісним показником остеопороза. У 1994 р. робочою групою Всесвітньої організації охорони здоров'я було прийнято рішення діагностувати ОП на основі ступеня зниження МЩКТ, що визначається методом кісткової денситометрії. При цьому використовується єдиний універсальний діагностичний показник для всіх методик денситометрії – так званий Т-критерій, що визначається як відношення фактичної кісткової маси пацієнта до вищого показника кісткової маси молодих здорових людей тієї ж статі, що розраховується у відсотках та стандартних відхиленнях [7, 8, 9].

За Т-критерієм оцінюють вираженість остеопенії або ОП. Під терміном остеопенія позначається до клінічна стадія ОП. Значення Т – критерію трактується наступним чином: від 3,0 до –1,0 – як норма; від –1,0 до –2,5 – як остеопенія; від –2,5 до –5,0 – як ОП [10].

При відсутності мінімального травматичного перелому або вторинної причини остеопорозу вимірювання, для пацієнтів віком приблизним до 70 років та більше, виконують скрінінгову діагностику. Для пацієнтів, які перенесли мінімальний травматичний перелом, вимірювання мінеральної щільності кісток не потрібно для діагностики остеопорозу. Однак базове вимірювання та діагностування завжди є корисним перед початком лікування.

Для цього використовується Z-показник – що виражає кількість стандартних відхилень від середньої мінеральної щільності кісткової тканини людини того ж віку та статі. У випадках, коли Z-показник нижче $-2,5$ виникає підозра щодо вторинної причини остеопорозу.

Якщо більш детально розглянути структуру кісткової тканини (КТ) (рис. 1) для розуміння з чого вона складається. До основних клітин кісткової тканини належать остеобласти - вони беруть участь в утворенні КТ, остеокласти - беруть участь в руйнуванні кістки, та остецити - основні кісткові клітини, які утворюють основну масу КТ разом з міжклітинною речовиною. Ще однією важливою структурною одиницею кістки є осеїн - система кісткових пластинок, що розташовані навколо центрального каналу, який містить судини і нерви.

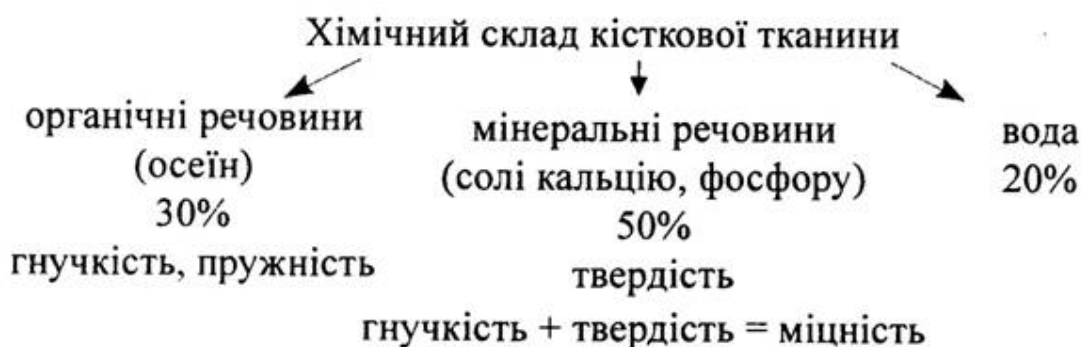


Рисунок 1. Структура кісткової тканини

Мінеральні речовини, такі як кальцій та фосфор, складають найбільшу частину складу кісткової тканини, та відповідають за твердість та щільність кісток. Комплексно здорова кісткова тканина характеризується міцністю кісток.

1.2 Фактори ризику

Розглядаючи фактори ризику переломів, окрім низької мінеральної щільності кісткової тканини, було визначено також ряд клінічних факторів, які слід брати до уваги разом з МЩКТ при діагностиці та для розрахунку ризику переломів у людини. Визначення мінеральної щільності кісткової тканини організму однаково необхідно для прогнозування переломів для обох полів, так як остеопороз може довгий час не мати клінічних симптомів, а проявлятися переломами: шийки стегнової кістки, вертебральними або іншими переломами різної локалізації [11, 12].

На сьогоднішній день, в сучасній діагностиці остеопорозу, особливу увагу приділяють наявності факторів ризику остеопорозу та виникненню переломів незалежних від МЩКТ. Фактори ризику поділяють на основні та додаткові. До основних належать наявність попередніх переломів після 40 років, особливо компресійних переломів хребців; прийом глюкокортикоїдів понад 3 місяці та вік, старше 65 років, захворювання ендокринної системи (хвороба і синдром Іценко - Кушинга), цукровий діабет (інсулінозалежний та 2-го типу), ревматичні захворювання, хвороба Крона, ; до додаткових – хвороби, що асоціюються з низькою щільністю кісткової тканини, спадковість (часті переломи в батьків), зловживання алкоголем, первинний або вторинний гіпогонадізм, низьку масу тіла ($IMT < 20 \text{ кг/м}^2$), тривале вживання лікарських засобів, що сприяють розвитку вторинного остеопорозу (глюкокортикоїди, антиконвульсанти, циклоспорин, гепарин, метотрексат, варфарин, літій, інгібітори протонної помпи, фенобарбітал, інгібітори зворотного захоплення серотонін, тиреоїдні гормони), зловживання кофеїном, тютюнопаління, дефіцит кальцію, алкоголізм, нервова анорексія, порушення харчування,. Поєднання вказаних факторів суттєво підвищує ризик остеопорозу та його ускладнень і потребує застосування своєчасних лікувально-профілактичних заходів [13].

Пікова кісткова маса досягається до 30 років. Постійна втрата починається приблизно з віку 40 років (0,3–0,5% на рік), з прискореними втратами в передменопаузальний період (4–6% на рік), перш ніж знову

сповільнитися після 70 років (1–2% на рік). Отже, вік є найсильнішим провісником ризику переломів.

Переломи не рідкісні серед чоловіків літнього віку, і, як правило, вони асоціюються з високим рівнем функціональних порушень і смертністю. Більш ніж у 1/3 чоловіків літнього віку наступний рік після перелому стегна закінчується смертю. Часто причину остеопорозу встановити не вдається, незважаючи на великі діагностичні можливості [14].

Для визначення факторів ризику пацієнти нерідко проходять міжнародний хвилинний тест оцінки факторів ризику остеопорозу [15].

На рисунку 1.2 представлений графік залежності між факторами ризику, побічними хворобами в процентному співвідношенні.

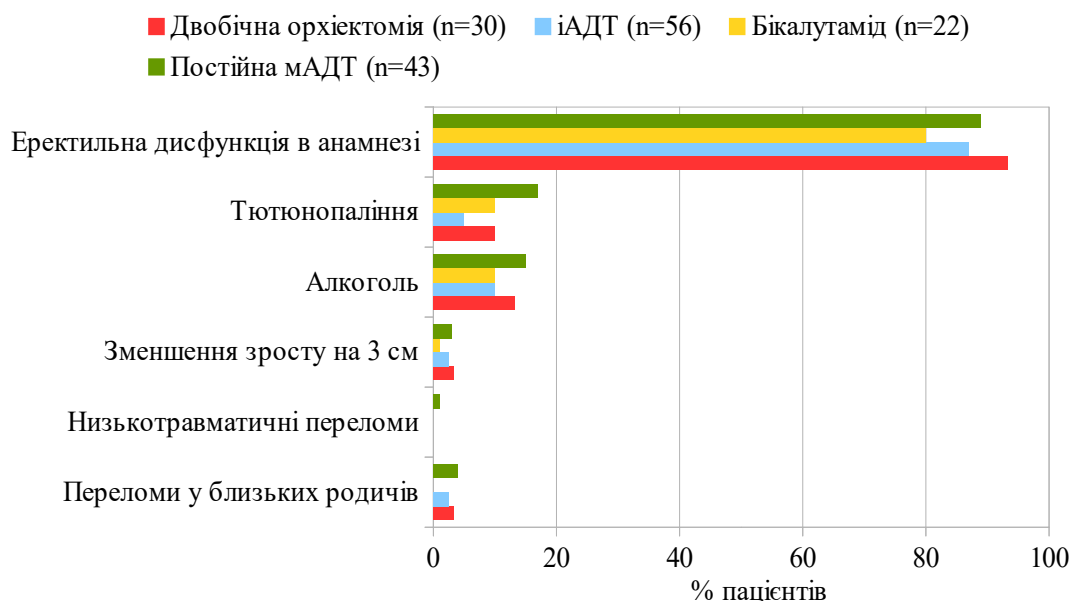


Рис. 1.2. Частота (%) факторів ризику остеопорозу.

Для оцінки ризику в теперішній час використовують систему прогнозування вірогідності перелому на найближчі роки, що включає клінічні фактори представлені в таблиці 1.1

Табл.1.1 Фактори ризику

<i>Показники</i>	
Вік	
Стать	М/Ж
Індекс маси тіла	
Переломи в анамнезі	Так/Ні
Сімейний анамнез (проксимальний відділ стегнової кістки)	Так/Ні
Тютюнопаління	Так/Ні
Прийом глюкокортикоїдів	Так/Ні
Ревматоїдний артрит	Так/Ні
Сахарний діабет	Так/Ні
Зловживання алкоголем	Так/Ні

Також існує більш розширена версія при наявності відповідей «Так».

Оцінка маси тіла обчислюється за формулою 1.1:

$$I = \frac{m}{h^2} \quad (1.1)$$

де: m — маса тіла в кілограмах

h — зріст в метрах,

i вимірюється в кг/м².

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

З огляду на існуючу інформацію та беручи до уваги різноманітність факторів котрі можуть привести до можливості перелому і постановки діагнозу остеопороз в майбутньому, дуже важливо піклуватися про своє здоров'я вже зараз.

На сьогодні існує багато різних методів дослідження змін в організмі та методик для підтримку його в оптимальному стані. Профілактика та вчасне діагностування допоможе знизити медико-соціальні наслідки в нашій країні. Так як патології кісткової тканини є однією з найпоширенішою проблемою стану здорового організму, вдосконалення методів діагностики є дуже актуальною темою сьогодення.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Методи визначення денситометрії

Денситометрія є неінвазивним методом визначення мінеральної щільності кісткової тканини. Вона застосовується для вимірювання вмісту кальцію в кістці, який є її основним структурним елементом. Денситометрія не доставляє незручностей, безболісна, безпечна і нешкідлива (рис.2.1). До того ж вона не займає багато часу і попередньої підготовки не вимагає. Разом з тим, за ефективністю метод переважає решту інструментальних методів в рази, особливо при роботі з тканинною структурою кісток.



Рисунок 2.1 Процедура діагностики

Що стосується місць для кількісної оцінки МЩКТ, деякі скелетні елементи виявилися більш діагностичними, аніж інші. Загалом, швидкість метаболізму, якщо розглядати їх як швидкість на одиницю об'єму, в трабекулярній кістці вище, ніж в коркової. Ключова відмінність трабекулярної та коркової кістки полягає в тому, що трабекулярна кістка - це більш пористі внутрішні регіональні шари тіла, які виробляють еритроцити, тоді як коркова кістка - це жорсткі зовнішні регіональні шари кістки, які зберігають жир. З цієї причини ідеальними місцями для вимірювання МЩКТ є ділянки з високим співвідношенням обсягу трабекулярної кістки та кортикальної пористості[16,17].

Ці області називаються регіонами інтересу (ROI). Крім того, ступінь відчутних змін у трабекулярній архітектурі та щільності, здається, вищий у осьовому скелеті, що робить його кращим місцем для скринінгових методів (наприклад, хребет) (рис. 2.2). Тим не менш, інші ділянки з високим співвідношенням трабекулярних / кортикальних речовин також виявилися придатними для аналізу МЦКТ, такі як передпліччя, гомілка та п'ятова кістка.

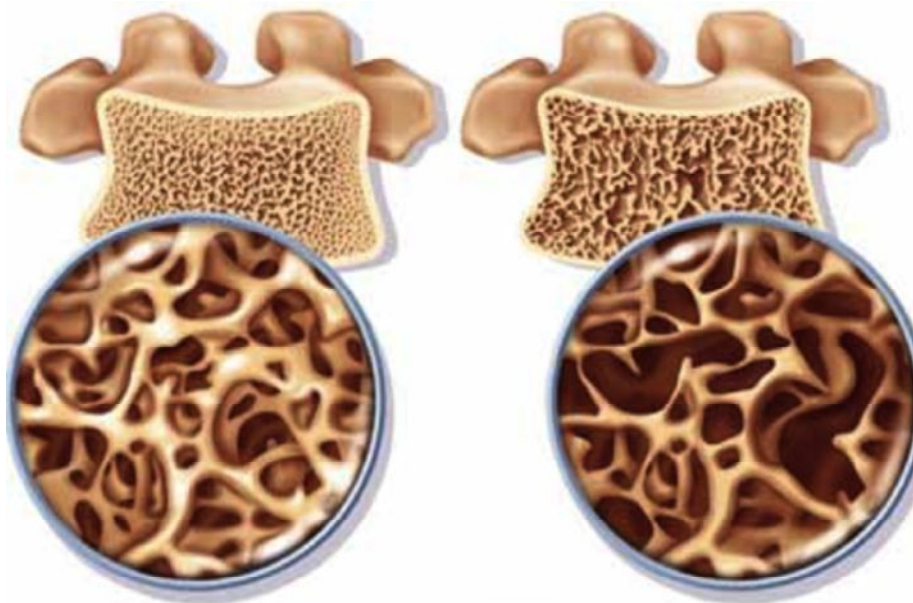


Рисунок 2.2 Приклад змін в кістковій тканині хребців

Розглянемо які модифікації методик визначення кісткової денситометрії визначають в сучасній діагностичній медицині.

2.2 Ультразвукова кісткова денситометрія.

На першому етапі діагностики частіше вибираються ультразвукові денситометри. З їх використанням можна виявити остеопороз на нульовій стадії з максимальною безпекою для пацієнтів. А також, такий вид діагностики абсолютно безпечно проходити і вагітним та новонародженим.

Ультразвукова денситометрія заснована на вимірі швидкості поширення ультразвукової хвилі по поверхні кістки (рис. 2.3), а також вимірі розсіювання ультразвукової хвилі в досліджуваній кістці широкопasmового спектру. Вимірювані параметри можуть відображати еластичність, щільність і твердість кісткової тканини [7]. Надалі свідчення аналізуються приладом, порівнюються з

нормативними значеннями, і видаються на монітор у вигляді графіка. Діагноз може бути встановлений відразу.



Рисунок 2.3 Визначення щільності кісткової тканини в кисті, фалангах, на кістках стоп і гомілковій.

Інформативність цієї методики значно уступає методам з використанням рентгенівських променів [10], особливо при показниках, що сильно відхиляються від норми. В такому випадку потрібні додаткові дослідження, які проводяться за допомогою рентгенографічного денситометра або апарату DXA. Цей прилад ретельно досліджує плечі, стегна, хребет і якщо необхідно, повністю скелет.

2.3. Двох-енергетична рентгенівська денситометрія.

Двох-енергетична рентгенівська денситометрія (DXA) (абсорбціометрія) – це найточніший спосіб вимірювання щільності кісткової тканини. За використанням двох різних рентгенівських променів, проводиться оцінка щільності кістки в хребті та у стегновій кістці. Чим щільніше кісткова тканина, тим менший через неї проходить рентгенівський промінь. Підсумовування й зіставлення результатів абсорбції двох рентгенівських променів (а саме поглинання кістковою та м'якими тканинами) дозволяє більш точно діагностувати зниження щільності кісткової тканини. За допомогою двох-енергетичної денситометрії можна вимірювати від 2% втрати кісткової маси в рік. Процедура займає мало часу й дози радіаційного опромінення дуже низькі [10].

При необхідності, так як при обстеженні цим приладом, в зрівнянні до звичайного рентгенівського апарату, пацієнт отримує незрівнянно меншу дозу опромінення, що практично дорівнює величині натурального і безпечного

радіологічного фону, таким приладом можна провести дослідження всього скелета людини (рис. 2.4).



ROI	BMD(г/см ²)	BMC(г)	Площадь(см ²)	LBM(г/см ²)	Ткани(г)	Площадь(см ²)	BFM(г/см ²)	Жир(г)	Площадь(см ²)
Левая рука	0.562	114.62	204.13	0.731	1711.35	2340.02	0.637	1491.71	2340.02
Правая рука	0.546	115.08	210.78	0.917	1904.85	2077.66	0.837	1738.28	2077.66
Левые ребра	0.320	96.27	300.78	9.088	5420.32	596.43	7.465	4452.09	596.43
Правые ребра	0.403	130.96	325.07	9.053	4978.16	549.92	7.757	4265.80	549.92
Грудной отдел	0.634	86.99	137.32	12.037	1658.86	137.81	7.847	1081.43	137.81
Поясница	0.862	46.59	54.06	11.599	667.14	57.52	12.591	724.18	57.52
Таз	0.713	262.44	368.16	8.912	6402.16	718.41	10.550	7579.50	718.41
Левая нога	0.656	333.25	507.98	3.642	5050.36	1386.63	3.383	4691.26	1386.63
Правая нога	0.675	342.43	507.65	3.426	5444.48	1589.15	3.105	4934.95	1589.15
Общий	0.584	1528.63	2615.93	3.516	33237.68	9453.55	3.275	30959.21	9453.55
Голова	1.337	336.21	251.38	2.210	3161.76	1430.34	0.555	794.00	1430.34

Структура всего тела		
Все области исследования	Вычисленный вес = 70017.5 g	Выделен. области исслед.
% Кости = 2.66 %		% Кости = 2.33 %
% Тканей = 51.99 %		% Тканей = 50.57 %
% Жира = 45.35 %		% Жира = 47.10 %

Рисунок 2.4 Приклад результатів DXA денситометрії всього тіла

2.4. Периферична кісткова денситометрія

Принцип одержання інформації завдяки периферичній кістковій денситометрії майже аналогічний двох-енергетичній денситометрії. Дозволяє виміряти щільність кісткової тканини в руці й нозі (у таких зонах, як зап'ястя

або п'яти), але цей метод не дозволяє вимірювати щільність у стегні й хребті, де найчастіше відбуваються переломи.

Периферичні денситометри – це портативні обладнання, яке можуть бути використане у звичайному кабінеті лікаря, без необхідності звертатися до спеціалізованих лабораторій. Периферична денситометрія також використовує для виміру дуже низькі дози радіаційного опромінення, але інформативність цього дослідження не дуже висока. Цей метод корисний для скринінгових досліджень і контролю лікування уже виявленого остеопорозу.

2.5. Двох-фотонна абсорбціометрія

Ще один метод рентгенівської денситометрії – двох-фотонна абсорбціометрія. При цьому методі дослідження щільності кісткової тканини використовуються радіоактивні ізотопи. Метод дозволяє вимірювати щільність кісткової тканини в стегновій кістці й хребті (рис. 2.5) [10]. Цей метод також використовує дуже низькі дози радіації, але вимагає набагато більше часу та підготовки для одержання результатів дослідження.

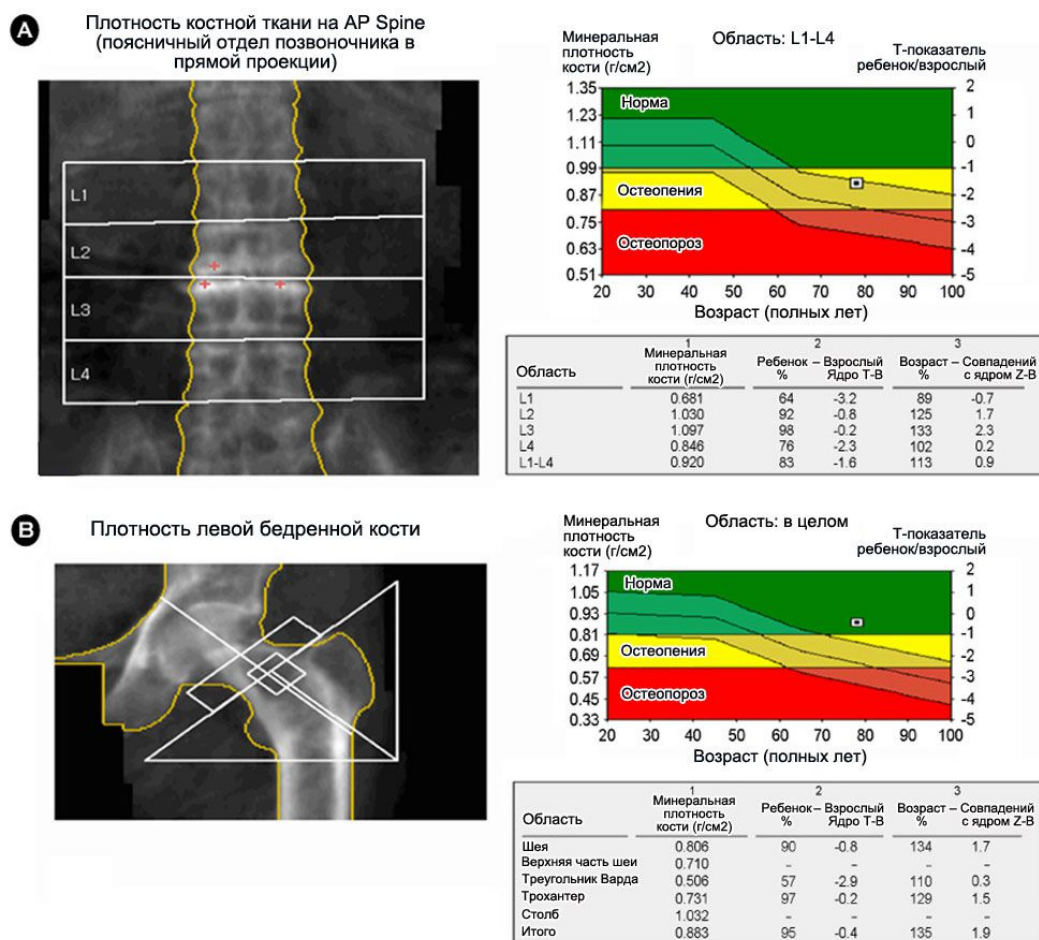


Рисунок 2.5 Показники щільності та інших параметрів кістки методом
двох-фотонної абсорбціометрії

2.6 Кількісна комп'ютерна денситометрія

Найбільш інформативним та достовірним методом діагностики ОП є кількісна комп'ютерна денситометрія (3D QCT), що являє собою різновид томографії, який використовує рентгенівські промені для одержання дійсної картини й структури кісткової тканини в об'ємному зображенні. Діагностичні показники обчислюються як результат загального поглинання рентгенівських променів в обсязі зрізу комп'ютерного томографа і є сумою усіх коефіцієнтів, що отримуються на ньому [18]. Однак, так як кісткова тканина складається із трьох різних компонентів: багатої кальцієм кісткової ґрати, гематогенної м'якої тканини й внутрішньокісткового жиру, одержувані таким способом значення мінеральної щільності кісткової тканини не відбивають дійсного змісту у ній мінералів. Частка жирової тканини в кістці збільшується з віком, зміщуючи співвідношення даних трьох компонентів, що в результаті викликає зниження загального коефіцієнта поглинання в області виміру. На результати вимірів також впливають зміна твердості рентгенівського пучка при проходженні його через тканини, ефект «часткового обсягу» та інші фактори. Для забезпечення стійких стандартів і усунення цих недоліків використовується спеціальний калібрований фантом, який містить матеріал з відомим еквівалентом кісткових мінералів (гідроксиапатитом кальцію або калію). У цьому випадку комп'ютерна аналітична програма перетворює денситометричні показники в області виміру в значення МЩКТ, які обчислюються по співвідношенню («лінії регресії») між середніми числами комп'ютерного томографа й МЩКТ відомих еквівалентів мінералу. Метод комп'ютерної денситометрії дозволяє кількісно аналізувати ступінь поглинання рентгенівського випромінювання різними тканинами.

Основними недоліками комп'ютерної денситометрії можна визначити більш високу дозу опромінення, в порівнянні з іншими методиками, вартість дослідження, складності при дослідженні шийки стегнової кістки й периферичних зон.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 та задачі дослідження

В другому розділі було розглянуто методи діагностики визначення щільності кісткової тканини організму. Детально проаналізовано наявні дані, розглянуто типові прилади діагностики в двох найпоширеніших методах, а саме ультразвуковий та рентгенівський, та на основі цих даних було вибрано метод ультразвукової денситометрії.

Покращення характеристик при проведенні ультразвукової діагностики надалі буде пріоритетним завданням для дослідження.

Можемо зробити наступні висновки:

- на сьогодні існує та розвивається велика кількість методів дослідження;
- створення нового обладнання потребує принципово нового підходу до вирішення цього питання, а розробка покращення досліджень потребує теоретичних та експериментальних досліджень;
- діагностика базується на використанні найбільш точних, безпечних для біологічних об'єктів, методів та їх безперервному вдосконаленні;
- вплив на кінцевий результат залежить не тільки від місця діагностики, а також від стану організму, та безпосередньо від точки впливу.

Доцільність проведення експериментального дослідження на основі існуючих даних є актуальною та можна поставити такі задачі:

- проаналізувати вплив на точках дослідження для різних частин діагностики;
- запропонувати удосконалення в частині підвищення точності;
- запропонувати варіант автоматизації процесу дослідження;
- проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

Погіршення загального стану організму з кожним роком буде тільки рости, тому розробка нових рішень і теорій в частині медичного приладобудування та діагностики є актуальною як ніколи.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вибір п'єзоелементу випромінювача та розрахунок параметрів

Швидкість поширення ультразвукових хвиль і їх поглинання в кістки обумовлені її щільністю і еластичністю. Ультразвукові денситометри дозволяють оцінювати показники поглинання ультразвуку (broadband ultrasound attenuation, BUA) та/або швидкість поширення ультразвуку (SOS).

У конструкцію денситометра входить випромінювач, основним елементом якого є п'єзоелемент, розміри і форма якого визначається в залежності від умов використання.

Здатність перетворювати механічні (в тому числі УЗ) коливання в електричну напругу називається прямим п'єзоефектом. П'єзоелементи, що перетворюють електричні сигнали, які поступають з електронного блоку приладу, в УЗ сигнали - зворотний п'єзоефект. Це відбувається при випромінюванні сигналів.

Щільність кістки в області шийки стегна і в п'ятці у жінок практично збігаються. В даному розділі проведемо дослідження проходження ультразвуку для цих двох варіантів проходження УЗ хвилі через різні біологічні шари. Межа поділу середовищ грає основну роль у формуванні сигналу, що переносить інформацію про біологічний об'єкт.

Розглянемо приклад типового приладу для діагностики остеопороза п'яткової кістки (рис. 3.1) та його основні характеристики (табл. 3.1).



Рисунок 3.1. Ультразвуковий кістковий денситометр SONOST-3000

Таблиця 3.1 Технічні характеристики приладу

Класифікація	Клас 1
Область вимірювання	П'ятка
Поза пацієнта	Сидячи
Час сканування	Менше 15 сек.
Вимірювальні характеристики	поглинання ультразвуку (broadband ultrasound attenuation, BUA) швидкість поширення ультразвуку (SOS) Індекс якості кістки (BQI)
Індекси замірів	SOS 0,2% BUA 1.5 % BQI 1.5%
Вхідне навантаження	220-240В, 1А, 50/60 Гц
Потужність	220 Вт
Діаметр УЗ зонду	25мм (25-100мм зміни позиції)
Основна частота	0,55 МГц
Розміри	615x293x310 мм
Вага	12 кг

Також необхідно розглянути принцип роботи таких приладів. На рис. 3.2 буде представлено схематичне зображення принципу роботи.



Рисунок 3.2 Схематичне зображення принципу роботи приладу.

Покращення характеристик УЗ денситометра можливо досягнути за рахунок збільшення або зменшення поперечних розмірів п'єзоелемента. Збільшення веде до підвищення чутливості в дальній зоні, проте спричиняє за собою зниження достовірності і відтворюваності результатів в ближній зоні. Зменшення поперечних розмірів п'єзоелемента приводить до зменшення чутливості, втрачається поперечна (кутова, фронтальна) роздільна здатність.

Використання роздільно-суміщеного перетворювача дозволить покращити роботу приладу, шляхом значного зменшення шумів, а також, зменшення кута між нормаллями п'єзоелемента та об'єктом контролю надає безпосередній вплив на частоти роботи УЗ денситометра. РС перетворювач дозволяє проходити ультразвуку під невеликим кутом, до 8° , коли поперечні хвилі не з'являються, а повздовжні – перетинаються у відбивачі. Приймальний і випромінюючий п'єзоелемент зазвичай об'єднують в загальному корпусі. Зменшення кута до 3° на частотах роботи 0,5 – 1 МГц, дозволить глибше та точніше фокусувати пучок УЗ в точці дослідження кісткової тканини, а також зменшить кількість акустичних шумів [21]. Характеристика модуляції радіочастотних сигналів, імпульсний режим опромінення, працюючий на принципі прийому – передачі, також впливає на покращення точності кінцевого результату діагностики.

В таблиці 3.2 наведені вихідні дані для розрахунку випромінювача

Таблиця 3.2

№	Параметр	Значення
1	Радіус кривизни сферичної поверхні R , мм	20
2	Діаметр випромінювача d , мм	18
3	Матеріал випромінювача	ЦТС-19
4	Частота генерованої хвилі f , МГц	1,0
5	Швидкість розповсюдження УЗ коливань в рідині, що підлягає розпиленню $C_{рід}$, м/с	1540

Визначення товщини шару матеріалу випромінювача.

Як відомо, сферичні випромінювачі, що виготовлені з п'єзоелектричної кераміки працюють на товщинному резонансі. Резонансну товщину сферичного випромінювача можна визначити так як і для плоскої випромінюючої пластини великого порівняно з товщиною діаметру за умови, що довжина УЗ хвилі в середовищі значно менше радіуса сферичного випромінювача $\lambda \ll R$. В такому випадку маленькі ділянки сферичної поверхні можна розглядати як плоскі. Тоді резонансна товщина випромінювача:

$$t = \frac{C}{2 * f}; \quad (3.1)$$

де:

t – резонансна товщина випромінювача;

C – швидкість розповсюдження УЗ хвилі в матеріалі випромінювача (для ЦТС-19 3300 м/с);

f – частота генерованої хвилі.

Перевіримо умову використання виразу вище. Для цього визначимо довжину ультразвукової хвилі середовищі, що підлягає розпиленню:

$$\lambda = \frac{C_{\text{рід}}}{f} \quad (3.2)$$

де:

λ – довжина хвилі в даному середовищі;

$C_{\text{рід}}$ – швидкість розповсюдження ультразвукових коливань.

Підставивши дані у вираз , отримаємо:

$$\lambda_{\text{рід}} = \frac{1540}{1.0 \cdot 10^6} = 15,4 \cdot 10^{-4} (\text{м}) = 1,54 (\text{мм}).$$

Оскільки виконується умова $\lambda_{\text{рід}} \ll R$ ($1.54 \ll 20$), то для розрахунку значення резонансної товщини випромінювача можна використати формулу:

$$K_r = \frac{3300}{2 \cdot 1.0 \cdot 10^6} = 16,5 \cdot 10^{-4} (\text{м})$$

3.2. Еквівалентна схема акустичного тракту

Метод кількісної ультразвукової кісткової денситометрії базується на принципах вимірювання швидкості поширення ультразвукової хвилі вздовж та/або поперек кістки.

Знаходження щільності кісткової тканини методом кількісної ультразвукової діагностики, вимірюючи швидкість проходження звуку, впливає з законів поширення ультразвуку в різних середовищах (табл. 3.3). Чим вище щільність середовища, тим більше швидкість ультразвуку [19].

Таблиця 3.3. Наближені значення швидкості ультразвуку в різних середовищах при температурі 36 °C

<i>Середовище</i>	<i>Щільність кг/м³</i>	<i>Швидкість ультразвуку м/с</i>
Повітря	1,3	330
Вода	1000	1430
Кров	1060	1570
Мозок	1025	1510
Жирова	952	1350

тканина		
М'язи	1075	1560
М'які тканини	1060	1540
Кістки (межі вимірювань)	1400-1900	2500-4080

Акустичний тракт – це шлях УЗ хвилі від випромінюючого перетворювача, через біологічну тканину, до перетворювача-приймача. Одною із основних особливостей при скануванні є значення параметрів акустичного тракту, тобто як буде себе вести УЗ хвиля при проходженні через різні біологічні шари [20]. Заломлення контактної рідини, проводу, протектора і частини корпусу не буде враховано, так як товщина цих елементів мала і приймається, що заломлення дуже незначне.

Основним результатом розрахунку акустичного тракту є коефіцієнт послаблення акустичного тракту:

$$K_{\text{А.Т.}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{в}}}, \quad (3.3)$$

де $P_{\text{п}}$ - акустичний тиск в приймальному перетворювачі, $P_{\text{в}}$ – АТ в випромінюючому перетворювачі.

Коефіцієнт акустичного тракту являє собою числова величина. Формула акустичного тракту враховує променеву картинку, характеристики спрямованості випромінювання – прийому та структурну схему акустичного тракту (акустичні характеристики та розміри середовищ, через які проходить акустичний промінь) [20].

Враховуючи частоту, характеристику спрямованості, довжина імпульсу сигналу та характеристиками акустичного тракту, що включають в себе згасання звуку в об'єкті контролю, матеріал перетворювача, узгоджуючі шари, характеристики акустичного контакту, границі розподілу, розміри і характер дефектів, необхідно отримати таке співвідношення, при якому коефіцієнт акустичного тракту досягає максимального значення, не погіршуючи похибку

вимірювання та вірогідність контролю. В цьому полягає оптимізація акустичного тракту.

Розрахунку акустичного тракту починається з розробка його еквівалентної схеми, в яку входить розробка ходу променів в об'єкті контролю від випромінювача до приймача з урахуванням типу хвиль, усіх границь розподілу, характеристик граничних середовищ та відбивача. Схема акустичного тракту залежить від методу контролю, типу хвиль, характеристик середовищ проходження та від самого відбивача, від заданої похибки вимірювання та вірогідності контролю [20].

Еквівалентна схема акустичного тракту приводиться на рисунку 3.3.

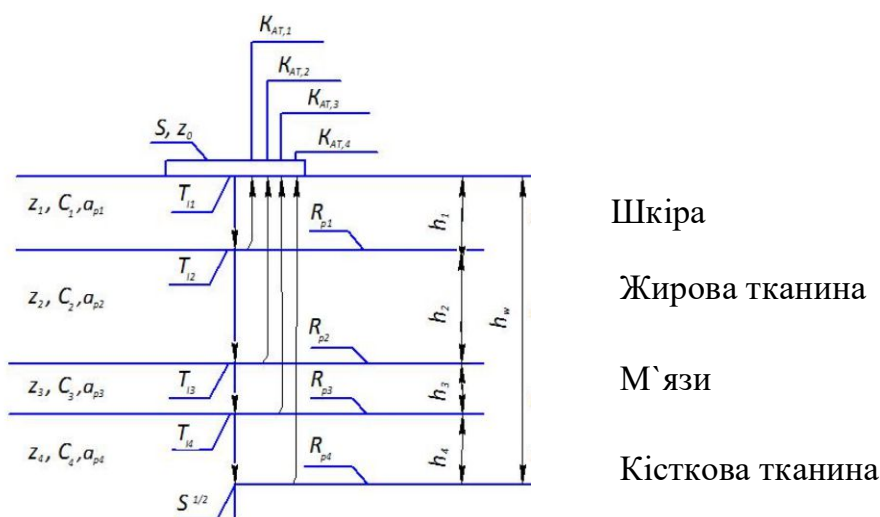


Рис. 3.3 Еквівалентна схема акустичного тракту.

Еквівалентна схема проходження УЗ біологічних шарів в акустичному тракті зображена на рис.3.1, де h_i - товщини шарів, z_i - імпеданси шарів, T_{ii} - коефіцієнти проходження по інтенсивності, R_{Pi} - коефіцієнти відбиття по тиску, C_i - швидкість УЗ в середовищі, α_{p1} - коефіцієнти затухання по тиску.

Показник швидкості реєструється за допомогою спеціального датчика, дані з якого надходять в комп'ютер, де обробляються системою. Оброблені дані комп'ютер виводить на монітор.

Для даного дослідження доцільно використовувати п'єзоперетворювач з частотою 1 МГц. Глибина дослідження до 2 см. Швидкості проходження акустичної хвилі в середовищах, через які проходить УЗ: $C_1 = 1490$ (м/с) -

шкіра; $C_2 = 1350$ (м/с) - жирова тканина; $C_3 = 1560$ (м/с) - м'язова тканина; $C_4 = 2500$ (м/с) – кісткова тканина (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

<i>Біологічне середовище</i>	<i>Швидкість ультразвуку, м/с</i>
Шкіра	1490
Жирова тканина	1350
М'язова тканина	1560
Кісткова тканина	2500

Входження ультразвуку в біологічні тканини здійснюється приблизно під кутом 3° .

Межа перетворювач – шкіра

Кут падіння на межу: $\theta_{\text{шкіра}} = 3^\circ$.

При проходженні УЗ коливань від перетворювача до шкіри заломлення не відбувається, тому що між ними знаходиться шар контактного гелю.

Межа шкіра – жирова тканина

Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{жт}} = 3^\circ$

$$\frac{C_{\text{шкіра}}}{C_{\text{жт}}} = \frac{\sin \theta_{\text{шкіра}}}{\sin \theta_{\text{жт}}} \quad (3.4)$$

$$\theta_{\text{жт}} = \arcsin \left(\frac{C_{\text{жт}}}{C_{\text{шкіра}}} * \sin \theta_{\text{шкіра}} \right) = \arcsin \left(\frac{1350}{1490} * \sin 3^\circ \right) = 2,71^\circ$$

Межа жирова тканина - м'язи

Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{м}} = 2,71^\circ$

$$\frac{C_{\text{жт}}}{C_{\text{м}}} = \frac{\sin \theta_{\text{жт}}}{\sin \theta_{\text{м}}} \quad (3.5)$$

$$\theta_{\text{м}} = \arcsin \left(\frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{жт}}} * \sin \theta_{\text{жт}} \right) = \arcsin \left(\frac{1560}{1350} * \sin 2,71^\circ \right) = 3,13^\circ$$

Межа м'язи— кісткова тканина

Кут заломлення на межі: $\theta_K = 3,13^\circ$

$$\frac{C_M}{C_K} = \frac{\sin \theta_M}{\sin \theta_K} \quad (3.6)$$

$$\theta_K = \arcsin \left(\frac{C_K}{C_M} * \sin \theta_M \right) = \arcsin \left(\frac{2500}{1560} * \sin 3,13^\circ \right) = 5,01^\circ$$

Отримані результати розрахунків приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Межа	Кут заломлення ультразвуку
перетворювач – шкіра	3°
шкіра – жирова тканина	2,71°
жирова тканина - м'язи	3,13°
м'язи— кісткова тканина	5,01°

Акустичні імпеданси шарів обчислюються за формулою:

$$Z = C * \rho; \quad (3.7)$$

де ρ – питома щільність, кг/м³, c – швидкість ультразвуку, м/с.

а) *п'єзоелектричного перетворювача з п'єзоелементом із ЦТС-19:*

$$Z_{\text{ЦТС-19}} = C_{\text{ЦТС-19}} \cdot \rho_{\text{ЦТС-19}} = 3300 \cdot 7,45 \cdot 10^3 = 24,58 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$Z_{\text{води}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

б) *шкіри:*

$$Z_1 = C_1 * \rho_1 = 1490 * 1311 = 1,95 * 10^6$$

в) *жирової тканини:*

$$Z_2 = C_2 * \rho_2 = 1350 * 952 = 1,28 * 10^6$$

г) *м'язової тканини:*

$$Z_3 = C_3 * \rho_3 = 1560 * 1075 = 1,67 * 10^6$$

д) кісткової тканини:

$$Z_4 = C_4 \cdot \rho_4 = 2500 \cdot 1695 = 4.23 \cdot 10^6$$

Отримані дані зводимо у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 Параметри біологічних тканин

Середовище	C м/с	ρ , кг/м ³	$Z \cdot 10^6$, Па·с/м
1. Шкіра	1490	1311	1.95
2. Жирова тканина	1350	952	1.28
3. М'язова тканина	1560	1075	1.67
4. Кісткова тканина	2500	1695	4.23

Розрахунок коефіцієнтів проходження по інтенсивності T_I :

Коефіцієнт проходження по інтенсивності T_I розраховується за формулою:

$$T_I = \frac{4z_1z_2}{(z_1 + z_2)^2} \quad (3.8)$$

1) п'єзоелектричний перетворювач – шкіра

$$T_{I1} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЦТС-19}} \cdot z_{\text{ШКІРА}}}{(z_{\text{ЦТС-19}} + z_{\text{ШКІРА}})^2} = \frac{4 \cdot 24.58 \cdot 1.95}{(24.58 + 1.95)^2} = 0.27;$$

2) шкіра - жирова тканина

$$T_{I2} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЖИР}} \cdot z_{\text{ШКІРА}}}{(z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{ШКІРА}})^2} = \frac{4 \cdot 1.28 \cdot 1.95}{(1.28 + 1.95)^2} = 0.956;$$

3) жирова тканина- м'язова тканина

$$T_{I3} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЖИР}} \cdot z_{\text{М'ЯЗИ}}}{(z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{М'ЯЗИ}})^2} = \frac{4 \cdot 1.28 \cdot 1.67}{(1.28 + 1.67)^2} = 0.982;$$

4) м'язова тканина – кісткова тканина

$$T_{I4} = \frac{4 \cdot z_{\text{КІСТКА}} \cdot z_{\text{М'ЯЗИ}}}{(z_{\text{КІСТКА}} + z_{\text{М'ЯЗИ}})^2} = \frac{4 \cdot 4.23 \cdot 1.67}{(4.23 + 1.67)^2} = 0.811.$$

Отримані результати розрахунків зводимо у таблицю 3.7

Таблиця 3.7

<i>Межа</i>	<i>Коефіцієнт проходження по інтенсивності ТІ</i>
перетворювач – шкіра	0,27
шкіра – жирова тканина	0,956
жирова тканина - м'язи	0,982
м'язи— кісткова тканина	0,811

Розрахунок коефіцієнтів відбиття по тиску R_p :

Коефіцієнт відбиття по тиску R_p розраховується за формулою:

$$R_p = \left| \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right| \quad (3.9)$$

1) п'єзоелектричний перетворювач - шкіра

$$R_{p1} = \left| \frac{z_{\text{ЦТС-19}} - z_{\text{ШКІРА}}}{z_{\text{ЦТС-19}} + z_{\text{ШКІРА}}} \right| = \left| \frac{1,95 - 24,58}{1,95 + 24,58} \right| = 0,852;$$

2) шкіра - жирова тканина

$$R_{p2} = \left| \frac{z_{\text{ШКІРА}} - z_{\text{ЖИР}}}{z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{ШКІРА}}} \right| = \left| \frac{1,95 - 1,28}{1,28 + 1,95} \right| = 0,207;$$

3) жирова тканина- м'язова тканина

$$R_{p3} = \left| \frac{z_{\text{М'ЯЗИ}} - z_{\text{ЖИР}}}{z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{М'ЯЗИ}}} \right| = \left| \frac{1,67 - 1,28}{1,28 + 1,67} \right| = 0,132;$$

4) м'язова тканина – кісткова тканина

$$R_{p4} = \left| \frac{z_{\text{КІСТКА}} - z_{\text{М'ЯЗИ}}}{z_{\text{КІСТКА}} + z_{\text{М'ЯЗИ}}} \right| = \left| \frac{4,23 - 1,67}{4,23 + 1,67} \right| = 0,433;$$

Отримані результати розрахунків зводимо у таблицю 3.8

Таблиця 3.8

<i>Межа</i>	<i>Розрахунок коефіцієнтів відбиття по тиску R_p</i>
перетворювач – шкіра	0,852
шкіра – жирова тканина	0,207
жирова тканина - м'язи	0,132
м'язи— кісткова тканина	0,433

Розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту

Довжини хвиль в середовищах, через які проходить ультразвук $f=1$ (МГц):

$$\lambda_1 = \frac{C_1}{f} = \frac{1490}{1 \cdot 10^6} = 14,9 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_2 = \frac{C_2}{f} = \frac{1350}{1 \cdot 10^6} = 13,5 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_3 = \frac{C_3}{f} = \frac{1560}{1 \cdot 10^6} = 15,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_4 = \frac{C_4}{f} = \frac{2500}{1 \cdot 10^6} = 25,0 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Значення коефіцієнтів затухання по тиску для шарів БТ:

$$\alpha_{p1} = 4,2 \text{ (Дб/см)} - \text{шкіра};$$

$$\alpha_{p2} = 2,09 \text{ (Дб/см)} - \text{жирова_тканина};$$

$$\alpha_{p3} = 4,89 \text{ (Дб/см)} - \text{м'язи};$$

$$\alpha_{p4} = 6,98 \text{ (Дб/см)} - \text{кістка};$$

Переведемо значення коефіцієнтів згасання по тиску з Дб/см в нП/м:

$$\alpha_{p1} = 4,2 * 100/8,68 = 48,3 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p2} = 2,09 * 100/8,68 = 24,15 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p3} = 4,89 * 100/8,68 = 56,35 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p4} = 6,98 * 100/8,68 = 80,5 \text{ (нП/м)};$$

Загальна формула для знаходження товщини шару:

$$h'_i = \frac{C_i}{2f} \tag{3.10}$$

$$h_i = h'_i / \cos \theta_i \tag{3.11}$$

$$h'_{ш} = \frac{C_{ш}}{2f} = \frac{1490}{2 * 1 * 10^6} = 0,000745 \text{ (м)}$$

$$h'_{\text{жт}} = \frac{C_{\text{жт}}}{2f} = \frac{1350}{2 \cdot 1 \cdot 10^6} = 0.000675(\text{м})$$

$$h'_{\text{м}} = \frac{C_{\text{м}}}{2f} = \frac{1560}{2 \cdot 1 \cdot 10^6} = 0.000780(\text{м})$$

$$h'_{\text{к}} = \frac{C_{\text{к}}}{2f} = \frac{2500}{2 \cdot 1 \cdot 10^6} = 0.000125(\text{м})$$

$$h_{\text{ш}} = h'_{\text{ш}} / \cos \theta_{\text{ш}} = 0,745 \cdot 10^{-3} / \cos 3^\circ = 0.745 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{\text{жт}} = h'_{\text{жт}} / \cos \theta_{\text{жт}} = 0,675 \cdot 10^{-3} / \cos 2.71^\circ = 0.675 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{\text{м}} = h'_{\text{м}} / \cos \theta_{\text{м}} = 0,780 \cdot 10^{-3} / \cos 3,13^\circ = 0.781 \cdot 10^{-3}$$

$$h_{\text{к}} = h'_{\text{к}} / \cos \theta_{\text{к}} = 0,125 \cdot 10^{-3} / \cos 5,01^\circ = 0.124 \cdot 10^{-3}$$

Розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту

$$(S = \frac{\pi}{4} 10^{-6} = 0,785 \cdot 10^{-6}):$$

Коефіцієнт акустичного тракту у першому середовищі (шкіра):

$$K_{A.T.1} = \frac{S'}{h_1 \cdot \lambda_1} T_{I1} R_{p1} e^{-2h_1 \alpha_{p1}} \quad (3.12)$$

$$K_{A.T.1} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{0,0007 \cdot 14,9 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,852 \cdot e^{-2 \cdot 0,0007 \cdot 48,3} = 0,16$$

Коефіцієнт акустичного тракту у другому середовищі (жирова тканина):

$$K_{A.T.2} = \frac{S'}{(h_1 + h_2) \cdot \lambda_2} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot R_{p2} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2})} \quad (3.13)$$

$$K_{A.T.2} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,0007 + 0,0006) \cdot 13,5 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \cdot 0,207 \cdot e^{-2 \cdot (0,0007 \cdot 48,3 + 0,0006 \cdot 24,15)} = 2,169 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт акустичного тракту у третьому середовищі (м'язова тканина):

$$K_{A.T.3} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3) \cdot \lambda_3} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot R_{p3} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2} + h_3 \alpha_{p3})} \quad (3.14)$$

$$K_{A.T.3} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,0007 + 0,0006 + 0,0007) \cdot 15,6 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \cdot 0,982 \cdot 0,132 \times \\ \times e^{-2 \cdot (0,0007 \cdot 48,3 + 0,0006 \cdot 24,15 + 0,0007 \cdot 56,35)} = 5,06 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт акустичного тракту у четвертому середовищі (кісткова тканина):

$$K_{A.T.4} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \cdot \lambda_4} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot T_{I4} \times \\ \times R_{p4} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2} + h_3 \alpha_{p3} + h_4 \alpha_{p4})} \quad (3.15)$$

$$K_{A.T.4} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,0007 + 0,0006 + 0,0007 + 0,0012) \cdot 25,0 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \times \\ \times 0,982 \cdot 0,811 \cdot 0,433 \cdot e^{-2 \cdot (0,0007 \cdot 48,3 + 0,0006 \cdot 24,15 + 0,0007 \cdot 56,35 + 0,0012 \cdot 90,5)} = 8,040 \cdot 10^{-3}$$

Залежність коефіцієнту акустичного тракту від глибини проникнення показано на рис.3.4.

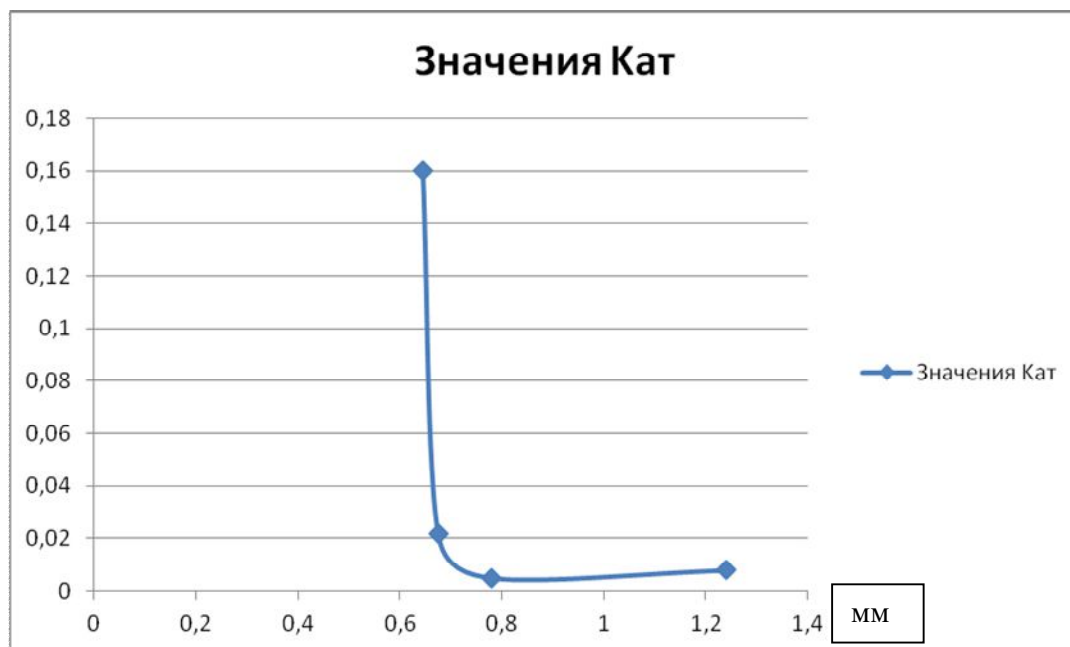


Рис.3.4. Залежність коефіцієнту загасання акустичного тракту від глибини проникнення

Стандартним кутом входження ультразвуку в біологічні тканини вважається кут 45° . Тож для дослідження та визначення достовірності проведеного експерименту порахуємо коефіцієнти акустичного тракту для стандартного у використанні кута і зрівняємо результати.

Межа перетворювач – шкіра

Кут падіння на межу: $\theta_{\text{шкіра}} = 45^\circ$.

При проходженні УЗ коливань від перетворювача до шкіри заломлення не відбувається, тому що між ними знаходиться шар контактного гелю.

Межа шкіра – жирова тканина

Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{жт}} = 45^\circ$

$$\frac{C_{\text{шкіра}}}{C_{\text{жт}}} = \frac{\sin \theta_{\text{шкіра}}}{\sin \theta_{\text{жт}}} \quad (3.4)$$

$$\theta_{\text{жт}} = \arcsin \left(\frac{C_{\text{жт}}}{C_{\text{шкіра}}} * \sin \theta_{\text{шкіра}} \right) = \arcsin \left(\frac{1350}{1490} * \sin 45^\circ \right) = 39,84^\circ$$

Межа жирова тканина - м'язи

Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{м}} = 39,84^\circ$

$$\frac{C_{\text{жт}}}{C_{\text{м}}} = \frac{\sin \theta_{\text{жт}}}{\sin \theta_{\text{м}}} \quad (3.5)$$

$$\theta_{\text{м}} = \arcsin \left(\frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{жт}}} * \sin \theta_{\text{жт}} \right) = \arcsin \left(\frac{1560}{1350} * \sin 39,84^\circ \right) = 47,75^\circ$$

Межа м'язи— кісткова тканина

Кут заломлення на межі: $\theta_{\text{к}} = 47,75^\circ$

$$\frac{C_{\text{м}}}{C_{\text{к}}} = \frac{\sin \theta_{\text{м}}}{\sin \theta_{\text{к}}} \quad (3.6)$$

$$\theta_{\text{к}} = \arcsin \left(\frac{C_{\text{к}}}{C_{\text{м}}} * \sin \theta_{\text{м}} \right) = \arcsin \left(\frac{2500}{1560} * \sin 47,75^\circ \right) = 49,86^\circ$$

Отримані результати розрахунків приведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

<i>Межа</i>	<i>Кут заломлення ультразвуку</i>
перетворювач – шкіра	45°
шкіра – жирова тканина	39,84°
жирова тканина - м'язи	47,75°
м'язи — кісткова тканина	49,86°

Акустичні імпеданси шарів обчислюються за формулою:

$$Z = C * \rho; \quad (3.7)$$

де ρ – питома щільність, кг/м³, c – швидкість ультразвуку, м/с.

а) п'єзоелектричного перетворювача з п'єзоелементом із ЦТС-19:

$$Z_{\text{ЦТС-19}} = C_{\text{ЦТС-19}} \cdot \rho_{\text{ЦТС-19}} = 3300 \cdot 7,45 \cdot 10^3 = 24,58 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$Z_{\text{води}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ (кг/м}^2 \cdot \text{с)}$$

б) шкіри:

$$Z_1 = C_1 \cdot \rho_1 = 1490 \cdot 1311 = 1,95 \cdot 10^6$$

в) жирової тканини:

$$Z_2 = C_2 \cdot \rho_2 = 1350 \cdot 952 = 1,28 \cdot 10^6$$

г) м'язової тканини:

$$Z_3 = C_3 \cdot \rho_3 = 1560 \cdot 1075 = 1,67 \cdot 10^6$$

д) кісткової тканини:

$$Z_4 = C_4 \cdot \rho_4 = 2500 \cdot 1695 = 4,23 \cdot 10^6$$

Розрахунок коефіцієнтів проходження по інтенсивності T_I :

Коефіцієнт проходження по інтенсивності T_I розраховується за формулою:

1) п'єзоелектричний перетворювач – шкіра

$$T_{I1} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЦТС-19}} \cdot z_{\text{ШКІРА}}}{(z_{\text{ЦТС-19}} + z_{\text{ШКІРА}})^2} = \frac{4 \cdot 24,58 \cdot 1,95}{(24,58 + 1,95)^2} = 0,27;$$

2) шкіра - жирова тканина

$$T_{I2} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЖИР}} \cdot z_{\text{ШКІРА}}}{(z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{ШКІРА}})^2} = \frac{4 \cdot 1,28 \cdot 1,95}{(1,28 + 1,95)^2} = 0,956;$$

3) жирова тканина- м'язова тканина

$$T_{I3} = \frac{4 \cdot z_{\text{ЖИР}} \cdot z_{\text{М'ЯЗИ}}}{(z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{М'ЯЗИ}})^2} = \frac{4 \cdot 1,28 \cdot 1,67}{(1,28 + 1,67)^2} = 0,982;$$

4) м'язова тканина – кісткова тканина

$$T_{I4} = \frac{4 \cdot z_{\text{КІСТКА}} \cdot z_{\text{М'ЯЗИ}}}{(z_{\text{КІСТКА}} + z_{\text{М'ЯЗИ}})^2} = \frac{4 \cdot 4,23 \cdot 1,67}{(4,23 + 1,67)^2} = 0,811.$$

Розрахунок коефіцієнтів відбиття по тиску R_p :

Коефіцієнт відбиття по тиску R_p розраховується за формулою:

$$R_p = \left| \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right| \quad (3.9)$$

1) п'єзоелектричний перетворювач - шкіра

$$R_{p1} = \left| \frac{z_{\text{ЦТС-19}} - z_{\text{ШКІРА}}}{z_{\text{ЦТС-19}} + z_{\text{ШКІРА}}} \right| = \left| \frac{1,95 - 24,58}{1,95 + 24,58} \right| = 0,852;$$

2) шкіра - жирова тканина

$$R_{p2} = \left| \frac{z_{\text{ШКІРА}} - z_{\text{ЖИР}}}{z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{ШКІРА}}} \right| = \left| \frac{1,95 - 1,28}{1,28 + 1,95} \right| = 0,207;$$

3) жирова тканина- м'язова тканина

$$R_{p3} = \left| \frac{z_{\text{М'ЯЗИ}} - z_{\text{ЖИР}}}{z_{\text{ЖИР}} + z_{\text{М'ЯЗИ}}} \right| = \left| \frac{1,67 - 1,28}{1,28 + 1,67} \right| = 0,132;$$

4) м'язова тканина – кісткова тканина

$$R_{p4} = \left| \frac{z_{\text{КІСТКА}} - z_{\text{М'ЯЗИ}}}{z_{\text{КІСТКА}} + z_{\text{М'ЯЗИ}}} \right| = \left| \frac{4,23 - 1,67}{4,23 + 1,67} \right| = 0,433;$$

Розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту

Довжини хвиль в середовищах, через які проходить ультразвук $f=1$ (МГц):

$$\lambda_1 = \frac{C_1}{f} = \frac{1490}{1 \cdot 10^6} = 14,9 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_2 = \frac{C_2}{f} = \frac{1350}{1 \cdot 10^6} = 13,5 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_3 = \frac{C_3}{f} = \frac{1560}{1 \cdot 10^6} = 15,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

$$\lambda_4 = \frac{C_4}{f} = \frac{2500}{1 \cdot 10^6} = 25,0 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}$$

Значення коефіцієнтів затухання по тиску для шарів БТ в нП/м:

$$\alpha_{p1} = 4,2 * 100/8,68 = 48,3 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p2} = 2,09 * 100/8,68 = 24,15 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p3} = 4,89 * 100/8,68 = 56,35 \text{ (нП/м)};$$

$$\alpha_{p4} = 6,98 * 100/8,68 = 80,5 \text{ (нП/м)};$$

Загальна формула для знаходження товщини шару:

$$h'_i = \frac{C_i}{2f} \tag{3.10}$$

$$h_i = h'_i / \cos \theta_i \tag{3.11}$$

$$h'_{\text{ш}} = \frac{C_{\text{ш}}}{2f} = \frac{1490}{2 * 1 * 10^6} = 0.000745 \text{ (м)}$$

$$h'_{\text{жт}} = \frac{C_{\text{жт}}}{2f} = \frac{1350}{2 * 1 * 10^6} = 0.000675 \text{ (м)}$$

$$h'_{\text{м}} = \frac{C_{\text{м}}}{2f} = \frac{1560}{2 * 1 * 10^6} = 0.000780 \text{ (м)}$$

$$h'_{\text{к}} = \frac{C_{\text{к}}}{2f} = \frac{2500}{2 * 1 * 10^6} = 0.00125 \text{ (м)}$$

$$h_{\text{ш}} = h'_{\text{ш}} / \cos \theta_{\text{ш}} = 0,745 * 10^{-3} / \cos 45^\circ = 0.1053 * 10^{-3}$$

$$h_{\text{жт}} = h'_{\text{жт}} / \cos \theta_{\text{жт}} = 0,675 * 10^{-3} / \cos 39.84^\circ = 0.579 * 10^{-3}$$

$$h_{\text{м}} = h'_{\text{м}} / \cos \theta_{\text{м}} = 0,780 * 10^{-3} / \cos 47,75^\circ = 1.160 * 10^{-3}$$

$$h_k = h'_k / \cos \theta_k = 0,125 \cdot 10^{-3} / \cos 49,86^\circ = 1,930 \cdot 10^{-3}$$

Розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту

$$(S = \frac{\pi}{4} 10^{-6} = 0,785 \cdot 10^{-6}):$$

Коефіцієнт акустичного тракту у першому середовищі (шкіра):

$$K_{A.T.1} = \frac{S'}{h_1 \cdot \lambda_1} T_{I1} R_{p1} e^{-2h_1 \alpha_{p1}} \quad (3.12)$$

$$K_{A.T.1} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{1,053 \cdot 10^{-3} \cdot 14,9 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,852 \cdot e^{-2 \cdot 0,001053 \cdot 48,3} = 0,318$$

Коефіцієнт акустичного тракту у другому середовищі (жирова тканина):

$$K_{A.T.2} = \frac{S'}{(h_1 + h_2) \cdot \lambda_2} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot R_{p2} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2})} \quad (3.13)$$

$$K_{A.T.2} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,001053 + 0,000879) \cdot 13,5 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \cdot 0,207 \cdot e^{-2 \cdot (0,001053 \cdot 48,3 + 0,000879 \cdot 24,15)} = 6,302 \cdot 10^{-2}$$

Коефіцієнт акустичного тракту у третьому середовищі (м'язова тканина):

$$K_{A.T.3} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3) \cdot \lambda_3} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot R_{p3} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2} + h_3 \alpha_{p3})} \quad (3.14)$$

$$K_{A.T.3} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,001053 + 0,000879 + 0,001169) \cdot 15,6 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \cdot 0,982 \cdot 0,132 \times e^{-2 \cdot (0,001053 \cdot 48,3 + 0,000879 \cdot 24,15 + 0,001169 \cdot 56,35)} = 4,072 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт акустичного тракту у четвертому середовищі (кісткова тканина):

$$K_{A.T.4} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \cdot \lambda_4} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot T_{I4} \times R_{p4} e^{-2(h_1 \alpha_{p1} + h_2 \alpha_{p2} + h_3 \alpha_{p3} + h_4 \alpha_{p4})} \quad (3.15)$$

$$K_{A.T.4} = \frac{0,785 \cdot 10^{-6}}{(0,001053 + 0,000879 + 0,001169 + 0,000193) \cdot 25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 0,27 \cdot 0,956 \times} \\ \times 0,982 \cdot 0,811 \cdot 0,433 \cdot e^{-2 \cdot (0,001053 \cdot 48,3 + 0,000879 \cdot 24,15 + 0,001169 \cdot 56,35 + 0,000193 \cdot 80,5)} = \\ 2,0815 \cdot 10^{-3}$$

Залежність коефіцієнту акустичного тракту від глибини проникнення показано на рис.3.5.

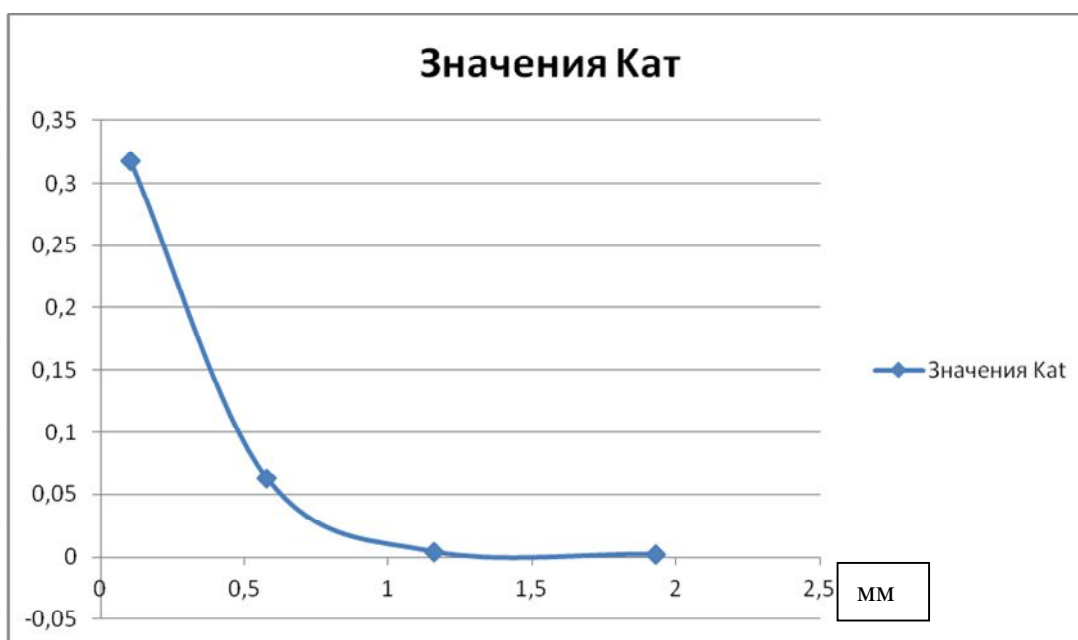


Рис.3.5. Залежність коефіцієнту загасання акустичного тракту від глибини проникнення

Порівнюючи графіки залежності коефіцієнтів акустичного тракту при кардинально різних кутах входження ультразвуку в біологічні тканини можемо зробити висновок. Припущення про дієвість роботи випромінювача в кутом входження в 3° є допустимим.

3.3 Автоматизація технології вимірювання щільності кісткової тканини

Автоматизація технології вимірювання щільності кісткової тканини практично виключає залежність від досвіду оператора.

Використовуючи бази даних УЗ, що гарантують певний стандарт якості, виключаємо можливі шуми і артефакти, виникнення яких можливе у ході діагностики. Спрощується процес звернення до БЗ України, постійне оновлення бази з додаванням кожного результату діагностики, зрівняння результатів не тільки за параметрами показників мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ), Т і Z критеріями (відповідно до встановлених ВОЗ норм), а й за показником крихкості F.S. – забезпечуватимуть незалежну оцінку внутрішньої мікроархітекτονіки кістки, що описує якість кістки, ступінь ламкості і загальну крихкість скелета для ризику переломів.

Також час проведення комплексної процедури діагностики з отриманням кінцевих результатів значно скорочується при автоматизації отримання результатів шляхом автоматичного друку, після завершення діагностики. (рис. 3.6)



Рисунок 3.6. Структурна схема автоматизації процесу постановки діагнозу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Зазначений розділ магістерської дисертації присвячений практичній частині виконання роботи та проведенню експериментальних досліджень. Під час проведення досліджень було запропоновано варіанти рішень для покращення характеристик УЗ денситометра, обрано п'єзо перетворювач, який дозволить покращити роботу приладу. Також було розраховано товщину шару матеріалу випромінювача та резонансної товщини.

Окремо було прораховано схему акустичного тракту, головною задачею чого було знайти такий коефіцієнт акустичного тракту, що буде досягати максимального значення, не погіршуючи інші характеристики роботи, такі як погрішність вимірювання та вірогідність контролю.

Було обраховано кути заломлення ультразвуку на кожному із шарів проходження УЗ променю, відштовхуючись від максимально низького кута заломлення для вибраного п'єзоелемента та частотної характеристики. Пораховано акустичні імпеданси шарів, коефіцієнти проходження по інтенсивності, коефіцієнти акустичних трактів, товщини шарів, а також коефіцієнти відбиття та затухання по тиску, що були завданням розрахунків на рівні з знаходженням коефіцієнтів акустичного тракту. В кінці було побудовано графік залежності загасання акустичного тракту від глибини проникнення.

Також у розділі було розглянуто варіанти автоматизації технології визначення щільності кісткової тканини організму.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕНСИТОМЕТР ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА ОРГАНІЗМУ»

4.1. Ідея стартапу та її розвиток у продукт

Стартап – це підприємницький проект, який завжди оцінюється вище своєї поточної вартості [34,36]. Оцінка стартапу ґрунтується на фінансових прогнозах майбутніх грошових потоків, яким як правило надзвичайно складно дати об'єктивну оцінку в силу непередбачуваності галузі високих технологій.

Головним фактором створення стартапу є бізнес ідея. Перспективні ідеї може коштувати величезних грошей на ринку, та особливо цінуються.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів [34]. Узагальнюючи основні етапи розроблення стартап-проекту можна виділити, насамперед, маркетинговий аналіз та організацію стартап-проекту, а також фінансово-економічний аналіз, оцінку ризиків та заходи з комерціалізації проекту.

Оцінка стартапу потрібна як автору, так і інвестору адже для обох важливо дізнатися поточну ціну, капіталізацію, а також можливу ринкову вартість. Важливо для обох сторін грамотно оцінити проект, так як саме від цього залежить його прибутковість [36]. Принцип оцінки стартапу базується на оцінці його майбутнього стану на подальших етапах реалізації з урахуванням усіх можливих ризиків.

Інформаційна карта складається з назви і авторів проекту, короткої анотації, терміну реалізації і необхідних ресурсів та опису проблематики.

Також карта містить в собі відомості про цільові групи, основні цілі і завдання проекту, кількісні та якісні показники досягнення результатів, план, основних виконавців, кошторис і шаблон бізнес-моделі.

Цей інструмент дуже зручний і важливий на етапі ініціації проекту. Надалі, після залучення ресурсів план може бути прив'язаний до календарного

плану, що дозволить чітко контролювати етапи та терміни реалізації проекту, допоможе сформувати бюджет та фази роботи над проектом [36-37,38].

Розглянувши в попередніх розділах основний необхідний матеріал для реалізації проекту, у цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза організму». Ідея проекту полягає у вдосконаленні приладу діагностики, підвищення точності та якості проведення досліджень на виявлення остеопорозу на конкретних ділянках організму людини.

У таблиці 4.1 наведено інформаційну картку стартап-проекту, де описуються основна ідея та цілі даного проекту.

Таблиця 4.1. Інформаційна картка проекту.

1. Назва проекту	Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза організму
2. Автори проекту	Смолка А.С. Клочко Т.Р.
3. Коротка анотація (не більше 1/3 сторінки)	Остеопороз відноситься до числа мультифакторних захворювань, практично будь-яка людина схильна до ризику захворювання остеопорозом, і запобігти цьому дуже складно. Даний проект дозволить дізнатися більше інформації про хворобу остеопороза організму та методи її діагностики, а також буде розглянуто більш детально метод ультразвукової діагностики, як найбільш ефективний неінвазивний метод.
4. Термін реалізації проекту	18 місяців <i>Тривалість проекту (в місяцях)</i>
5. Необхідні ресурси	Ідея (напрям роботи, постановка задачі, уявленні про систему); Інформаційні ресурси (доступ до електронних джерел, доступ до книжкових джерел); Персональний комп'ютер; Програмне забезпечення; Робоче приміщення (кімната, освітлення, стіл, стілець); Біологічні зразки; Витрати на собівартість приладу (матеріали для виготовлення корпусу та окремих деталей , відчутники, приймачі , друковані плати, компоненти плати, блок

	живлення, дріт, діоди, припій клей); Електроенергія.	
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	Недосконала конструкція існуючих аналогів приладів для ультразвукової діагностики остеопороза організму людини, а також необ'єктивна оцінка ушкоджень.	
7. Головні цілі та завдання проекту	Удосконалити конструкцію приладу для діагностики остеопороза та покращити його основні параметри, підвищити можливість виявлення хвороби на ранніх стадіях.	
8. Очікувані результати		
1. Протестувати удосконалений прилад для діагностики остеопороза організму людини. 2. Довести перевагу даного приладу(більш якісний,надійний та точний прилад). 3. Провести дослідження для різних типів тканин. 4. Удосконалення методів роботи діагностуючих приладів.		
Інженер-конструктор	Генератор ідей	Розробка приладу Розробка технічного завдання Креслення деталей Оформлення технічної документації Складання приладу
Електротехнік	Виконавець	Розробка електричної схеми Складання електричних елементів Контроль складу електричних елементів

ІТ- спеціаліст	Спеціаліст	Розробка програмного забезпечення Сервісне забезпечення Сервісне обслуговування
Менеджер	Дипломат	Розробка бізнес плану Пошук ринку Пошук інвесторів

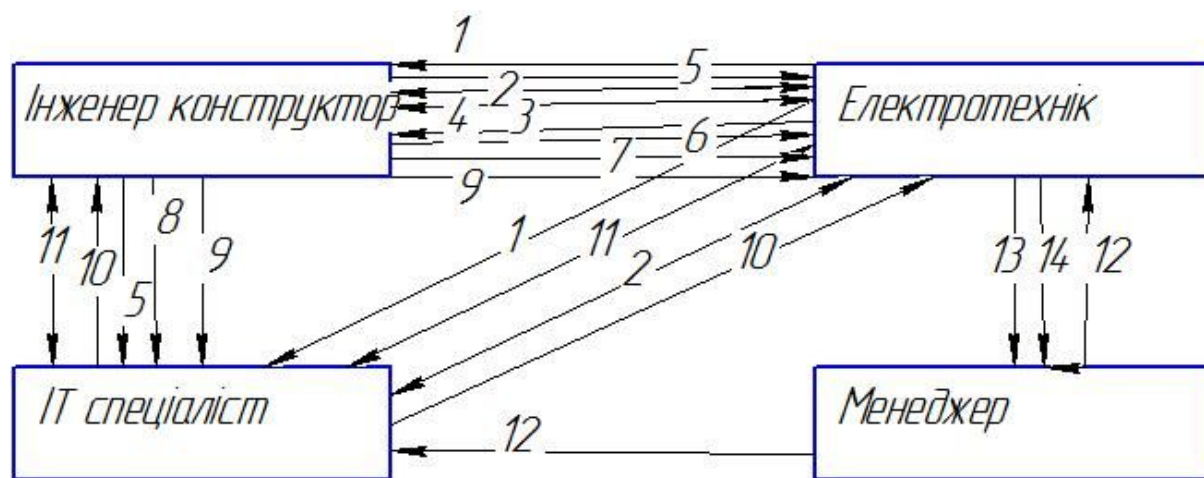


Рис. 4.1. Схема зв'язків робочої команди

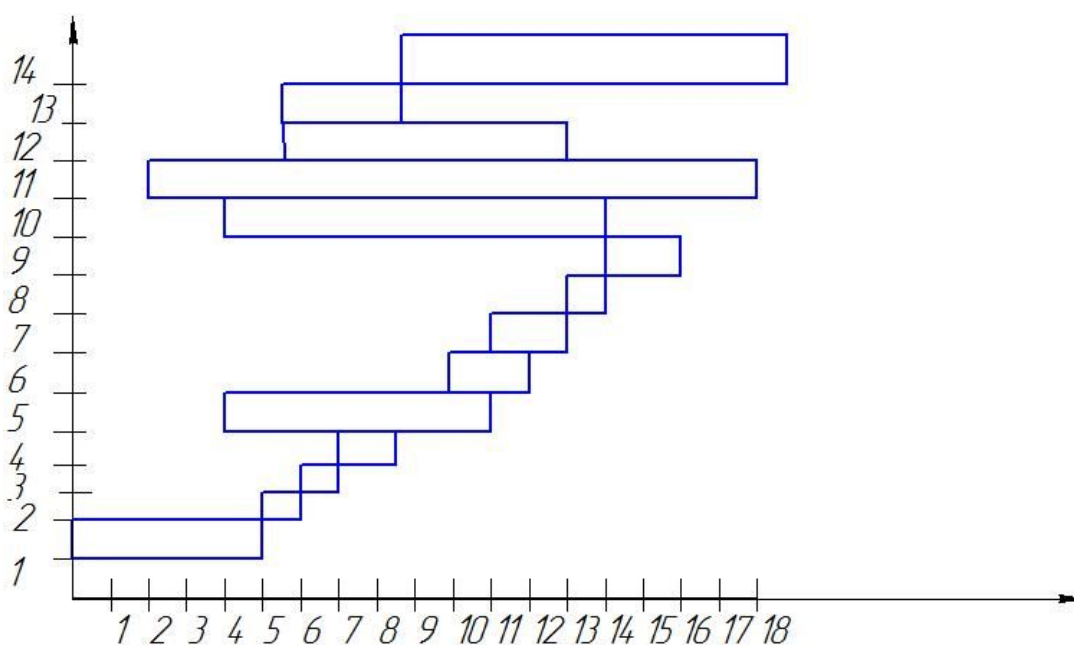


Рис. 4.2. Графік часового розподілу між партнерами та завданнями

В результаті реалізації проекту при коректному та рівномірному розподілі завдань між членами робочої команди (рис. 4.1.) буде отримано удосконалену систему роботи з високою ефективністю. Своєчасне планування та виконання завдань (рис. 4.2.) дозволить максимально притримуватись плану і, тим самим, дозволить зменшити фінансові та матеріальні ризики.

У таблиці 4.2 визначено дольову участь у стартап-проекті кожного учасника.

Таблиця 4.2. Визначення дольової участі у стартап проекті кожного учасника

Фактор	Електротехнік	Інженер-конструктор	ІТ-спеціаліст	Менеджер	
Ідея	6	10	6	0	
Підготовка бізнес плану	3	4	4	9	
Компетентність	7	8	6	7	
Залученість і ризики	7	7	7	4	
Обов'язки	9	9	9	9	
Разом	273	330	274	246	1123
Процент	24,3%	29,38%	24,39%	21,9%	100,0%

Згідно з отриманими даними, можна зробити висновок, що інженер-конструктор є ключовим учасником команди стартап-проекту, так як саме від його компетенції залежить успішна реалізація проекту.

Метод морфологічного ящика або «морфологічний аналіз» [38] складається з таких етапів:

1. Точне формулювання проблеми, що підлягає вирішенню.
2. Виявлення та охарактеризування усіх параметрів, які могли б увійти у вирішення заданої проблеми.
3. Конструювання морфологічного ящика або багатомірної матриці,

що містить усі розв'язання заданої проблеми.

4. Аналіз рішень, їх оцінка з погляду цілей, які мають бути досягнуті.
5. Обрання та реалізація найкращих рішень.

Таблиця 4.3. Морфологічна карта

Основні параметри	1 варіант	2 варіант	3 варіант
Класифікація	Клас	Клас	Клас
Область вимірювання	Контактна мала область	Широка область	Змішаного типу
Поза пацієнта	Сидячи	Залежить від типу вимірювань	Лежачи
Механізм відображення	LED дисплей	Необхідність підключення ПК	Друк готових результатів
Тип паперу	Сублімаційна	Термографічна	-

— *Товар за задумом*

Прилад діагностики остеопороза ультразвуковий. Товар володіє необхідними для даного типу систем характеристиками, має нижчу собівартість.

— *Товар у реальному виконанні*

Зовні прилад виглядає як невеликий сканер з поглибленням для діагностики кінцівки. Живлення акумуляторне, або від мережі. Термін експлуатації системи: 15 років, з необхідністю заміни відчутників, сканерів та інденторів торкання кожних 5 років.

— *Товар з підкріпленням*

Відповідно до побажання замовників можливі різні комбінації комплектації додаткових матеріалів для використання приладу. Ціна товару договірна в залежності від вибраної комбінації.

Голова проблеми: На початку виявлення проблеми хрупкості кісток,

надалі завчасне виявлення проблеми та максимально детальна інформація (рис. 4.3).



Рис. 4.3 Етапи еволюції ідеї

1-й MVP: Анамнез. Лікарі виявив проблему хрупкості кісток, в основному у більш дорослих людей. Перше, що привернуло увагу, повальні переломи шийки стегнової кістки. Як виявляти заздалегідь групу ризику? Прощупуванням кісток. Наступним кроком було вивчення патологоанатомами кісток, їх вигляд і патологія тканин. Як виявити цю патологію заздалегідь?

2-й MVP: Рентген. За допомогою рентгенівських променів просвічують кістки і отримують результат на спеціальну плівку або папір. Виявили, що рентгенівський метод не дає можливості розпізнавати хворобу на більш ранніх стадіях, аніж на четвертій, коли помітно знижується щільність кісткової тканини.

3-й MVP: Біохімічні методи. Спроба виявлення залежності стадії хвороби від рівня фосфору і кальцію в крові.

4-й MVP: Ранній остеопороз виявляють при комп'ютерній томографії або на магнітно-резонансному томографі в вигляді вогнищ зниження щільності кісткової тканини в губчастої кістки (плямистий остеопороз). Раніше зникають трабекули, які менше беруть участь в функціональному навантаженні. Велике значення має порівняння даних досліджень в динаміці.

5-й MVP: Сучасні комп'ютерні томографи дозволяють отримати тривимірну модель кістки, провести вимірювання щільності кісткової тканини, розрахувати її обсяг, кількість трабекул і виміряти простір між ними, оцінити розподіл мінералів, що визначає міцність кістки. А прилади з методами

діагностики з абсорбціометрією дозволяють досліджувати осьовий скелет, володіють прийнятною чутливістю, достатньою точністю і відносно не високою вартістю.

Опрацювання питань для удосконалення продукту «Денситометр» з вичерпними відповідями на запитання наведена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. Опрацювання питань для удосконалення продукту «Денситометр»

№	Запитання	Відповідь
1	Частиною яких систем є продукт?	Денситометр відноситься до систем діагностики кісних захворювань.
2	Які функції системи може виконувати продукт? Як їх з ним пов'язати?	Денситометр може виконувати діагностику остеопорозу кісток та тканин, а також представляти всю необхідну інформацію, наприклад про стадію хвороби. Може взаємодіяти в ПК та принтером.
3	З яких частин складається?	Денситометр, у загальному випадку, містить джерело випромінювання, зазвичай світла, і якийсь приймач, що вимірює інтенсивність цього випромінювання, або після проходження через досліджуваний об'єкт, або після відбиття від нього. Результат вимірювання дозволяє судити про ступінь шуканого потемніння, тому продукт можна розділити на окремі частини.
4	Яким має бути ідеальний продукт?	Денситометр має виконувати якісну оцінку стадії остеопороза у пацієнта.
5	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	Вдосконалення приладу було в його властивостях виявляти стадії захворювання з максимально точними характеристиками, а також на вдосконалення технології та розмірів(мобільності) пристрою.
6	Які функції залишилися «недорозвиненими»?	Неможливість включити дані біохімічного аналізу.
7	Якими були схожі продукти в минулому?	В минулому прилади для діагностики остеопороза були дуже громіздкими та займали багато місця і не мали хорошу якість контролю.

8	За допомогою яких частин відбувається торкання до поверхні зразка?	Торкання до поверхні зразка здійснюється за допомогою змінного індентора, після чого торкання реєструється за допомогою відчутників, які знаходяться на поверхні, до якої прикладається кінцівка.
9	Яким чином буде здійснюватись вимірювання в різних кістках організму?	Так як наш прилад досить малих на компактних розмірів, ми можемо вільно переносити його та притуляти до необхідної для діагностики ділянки кістки, що і дозволить здійснювати вимірювання у важкодоступних місцях.

10	Чи буде модернізуватись продукт в майбутньому?	Так, продукт буде модернізуватись.
11	Для яких вимірювань розрахований прилад?	Прилад розрахований на роботу вимірювання кісткового метаболізму на ранніх доклінічних стадіях, вимірювати з високим ступенем достовірності і відтворюваності швидкість проходження ультразвуку (SOS) і коефіцієнт широкосмугового загасання (BUA). На підставі цих даних автоматично розраховуються T і Z-індекси для різних вікових та етнічних груп.

Здійснюємо відбір найцікавіших ідей і формуємо їх список.

Ідея 1: Класичні рентген апарати і перші томографи, які використовували для діагностики щільності кісток.

Ідея 2: Вдосконалення томографів та розробка методів діагностики на них

Ідея 3: Прилади для діагностики хвороби, з можливістю бачити результати обстеження на ПК.

Ідея 4: Вдосконалені та більш компактні прилади для діагностики захворювання зі спеціальними слотами, через які можна передавати інформацію на ПК.

Ідея 5: Прилад для діагностики захворювання надає максимально чітку і точну інформацію про стадії хвороби та інші можливі параметри синхронно копіюючи інформацію в реєстр.

Ідея 6: Прилад ультразвуковий, що використовує ультразвук для діагностики захворювання та стадії хвороби.

Ідея 7: Прилад діагностики захворювання з навчально-розпізнавальним характером, що дасть змогу розпізнавати за типом тканин та методу оцінки стадії захворювання. Визначати точки контролю самостійно, робити висновки та давати рекомендації.

Ідея 8: Прилад розрахований на роботу вимірювання кісткового метаболізму на ранніх доклінічних стадіях, вимірювати з високим ступенем достовірності і відтворюваності швидкість проходження ультразвуку (SOS) і коефіцієнт широкосмугового загасання (BUA). На підставі цих даних автоматично розраховуються T і Z-індекси для різних вікових та етнічних груп. Після чого має можливість роздрукувати всі дані обстеження для пацієнта [29-30].

Агрегування 1:

- Прилади які легко налаштувати та можуть бути використані для діагностики всіх кісток
- Змінні частини, доступні для всіх класів приладів

Агрегування 2:

- Спеціальні індентори для визначення надторкання та точки торкання

- Механічна складова приладу для записування і передачі даних на ПК

Агрегування 3:

- Прилад автоматично розпізнає тип тканин, простий в використанні, а також має високий рівень достовірності в не залежності від стадії
- Доступна для використання на діагностику для всіх вікових категорій, в не залежності від етнічних груп, прилад виконує високоякісну і дуже швидко діагностику (15с) з подальшим друком результатів.

Таким чином отримано три додаткові ідеї. Кількість продуктивних та унікальних ідей збільшено до одинадцяти. Навіть без їх ретельного аналізу, якщо скласти морфологічну таблицю, то можна отримати близько 30–40 якісно нових ідей.

Відбираємо найбільш працездатні ідеї, перевіряємо їх на своєчасність. Для цього необхідно за кожною з отриманих ідей відповісти на три запитання: що вийшло, де це можна використати та кому це потрібно.

Таблиця 4.5. Синхронізація завдань.

<i>Етапи</i>	<i>Продукти (послідовність заміщення)</i>		
Минуле століття	Класичний прилад для діагностики	Автоматизований прилад для діагностики остеопороза (денситометр)	Розумний денситометр
Сьогодні	Ідея 1: Рентген апарати і томографи	Ідея 3: Прилад синхронізований з ПК	Ідея 6: Прилад для ультразвукової діагностики остеопороза
Завтра	Ідея 2: Методи вимірювання та контролю	Ідея 4: Прилад безконтактно синхронізуючий	Ідея 7: Прилад діагностики захворювання з навчально-розпізнавальним характером
Денситометри XXI століття	Ідея 3: Компактні апарати для використання на виробництві та лабораторних установках	Ідея 5: Прилад широкоформатної діагностики і передачі даних	Ідея 8 : Сучасний денситометр
Післязавтра	Агрегування 1:	Агрегування 2:	Агрегування 3:

Таблиця синхронізації завдань (табл. 4.5.) надає змогу оцінити актуальність кожної з ідей, тим самим висвітлюючи їх своєчасність та можливість успішного впровадження в майбутньому. Такий розподіл допоможе передбачити та уникнути появи зайвих витрат та ризиків безпосередньо під час реалізації проекту.

Іншим, додатковим методом оновлення продукту є концепція рівнів товару [56], що полягає в аналізі товару на трьох рівнях (табл.4.6): товар на стадії

здуму (ідея, що може бути втілена), товар у реальному виконанні (матеріальне втілення товару за задумом) та товар з підкріпленням (сукупність послуг, які полегшують користування товаром в реальному виконанні).

4.2. Формування команди стартапу

Для оцінки факторів вкладу кожного учасника в робочий проєкт було використано метод середньої оцінки [35,37].

В ході підготовки детального бізнес плану були визначені основні фактори, що впливають на вихідний результат. Для їх оцінки були введені вагові значення (табл. 4.6.), які після проведеного аналізу дають змогу оцінити внесок кожного з партнерів (табл. 4.7.), їх залученість та ризики.

Таблиця 4.6. Вагові значення факторів

<i>Фактор</i>	<i>Вага (важливість)</i>
Ідея	10
Підготовка бізнес плану	9
Компетентність	8
Залученість і ризики	7
Обов'язки	9

Таблиця 4.7. Внесок кожного з партнерів

<i>Фактор</i>	<i>Електротехнік</i>	<i>Інженер конструктор</i>	<i>ІТ-спеціаліст</i>	<i>Менеджер</i>
Ідея	6	10	6	0
Підготовка бізнес плану	3	4	4	9
Компетентність	7	8	6	7
Залученість і ризики	7	7	7	4
Обов'язки	9	9	9	9

Таблиця 4.8. Оцінювання важливості кожного фактора і внеску кожного учасника

Фактор	В ага	Електротехнік	Інженер конструктор	ІТ-спеціаліст	Менеджер
Ідея	10	6	10	6	0
Підготовка бізнес плану	9	3	4	4	9
Компетентність	8	7	8	6	7
Залученість і ризику	7	7	7	7	4
Обов'язки	9	9	9	9	9

Таблиця 4.9. Визначення дольової участі у стартап проєкті кожного учасника

Фактор	Електротехнік	Інженер конструктор	ІТ-спеціаліст	Менеджер	
Ідея	6	10	6	0	
Підготовка бізнес плану	3	4	4	9	
Компетентність	7	8	6	7	
Залученість і ризику	7	7	7	4	
Обов'язки	9	9	9	9	
Разом	273	330	274	246	1123
Процент	24,3%	29,38%	24,39%	21,9%	100,0%

Аналіз оцінювання важливості кожного фактора і внеску кожного учасника (табл. 4.8.) показав, що від сумарного вкладу в проєкт (що дорівнює 100%) частка роботи електротехніка займає 24,3%, інженера-конструктора 29,38%, ІТ-спеціаліста 24,39%, а менеджера – 21,9% (табл. 4.9.). Отже, запорукою успіху буде злагоджена робота кожного з фахівців та мінімізація ризиків.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту та розробка ринкової стратегії проекту

Для запуску проекту перш за все необхідно попередньо оцінити загальний стан ринку, його динаміку, обсяг продаж та специфічні вимоги. Попередня характеристика потенційного ринку представлена в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10. Попередня характеристика потенційного ринку

	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
	Кількість головних гравців, од	2
	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000000 грн/ум. од. 20000 грн/ ум. од.
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Робота в різних типах зразків, та необхідний рівень сертифікації і патентування.
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація оцінки якості, надійності, енергоспоживання, наявності забруднювальних елементів середовища
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25%

Наступним кроком введення продукту на ринок є вивчення потенційних клієнтів та їх вимог до товару. Для нашого приладу характеристика потенційних клієнтів представлена в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1.	Діагностика ультразвуковими	Компанії та підприємства які	Пошук продуктів які	- до продукції:

	денситометрами	розробляють медичні прилади та приладі діагностики або їх компоненти	відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах.	якість, надійність, ціна, ефективність - до компанії-постачальника: надання якісної продукції та сервісу, гарантійна якість продукту
2.	Діагностика денситометром різних частин кісткового скелету та різних типів тканин	Клінічно-дослідні установи	Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах, переносимість, простота, надійність	- до продукції: якість, надійність, ціна, ефективність - до компанії-постачальника: надання якісної продукції та сервісу, гарантійна якість продукту

Далі необхідно опрацювати фактори загроз та можливостей. Загрози та можливості можуть бути різні за класифікацією, змістом чи реакцією компанії (табл. 4.12, 4.13).

Таблиця 4.12. Фактори загроз.

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зменшення виконання різноманітних додаткових аналізів	Зменшення користувачів саме ультразвукової діагностики, що призведе до зменшення попиту на такий тип	Пристосування подальших моделей денситометрів з більш широким спектром діагностування

		денситометрів	
2	Використання моделей інших компаній які мають більшу кількість функцій та операцій при вимірюванні	Користувачі будуть націлені на той товар який даватиме можливість ширше оцінити результати діагностики, а саме стан організму	Збільшення різноманітності способів використання і видів приладу збільшать спектр застосування приладу і тим самим зацікавлять споживача

Таблиця 4.13. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Поява нової компанії з виробництва ультразвукових денситометрів	Не зацікавленість компаній в закупівлі нових приладів з діагностики, у нової компанії, яка вийшла на ринок	Можливість тестового варіанту. Тобто підприємство може придбати декілька приладів та самостійно протестувати їх на пацієнтах або в клінічних умовах (термін три місяці). Після чого купити або повернути денситометр.
2	Неможливість реалізувати свій продукт на ринку	Велика конкурентність з боку інших компаній, що не дозволить молодій компанії розвиватись	Злиття з іншою компанією виробником подібної продукції, але на умовах окремого відділу, що спеціалізуватиметься на приладах певного типу діагностики.

Важливим кроком є аналіз конкуренції на ринку. Такий аналіз можна проводити ступенево (табл. 4.14.), або ж за допомогою аналізу конкуренції в галузі за М. Портером (табл. 4.15.).

Таблиця 4.14. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
Монпольна конкурентність	Подібна продукція різних компаній, що орієнтована на певну	Пропонування тестових варіантів приладів, безплатне

	частину ринку	встановлення продукту, навчання персоналу працювати на даному приладі, розрахунок виробництва на технологічність із даним приладом, знижки, спеціальні пропозиції, прямі домовленості з компаніями стосовно покупки продукту
2. Національний рівень	Можливість компанії швидко розвиватися в межах національного ринку, та мати можливість конкурувати з зарубіжними компаніями	Відповідати умовам якісної та надійної продукції, яка має не завищену ціну
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Створення продукту схожого до продуктів інших компаній але з деякими відмінностями	Компанія буде виготовляти продукцію яка буде відрізнятися методом діагностики та якістю і швидкістю проведених досліджень.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція компанії з іншими підприємствами, які спеціалізуються на виготовленні приладів такого ж напрямку	При представленні продукту, порівняти його з приладами компанії-конкурента і вказати на переваги свого продукту
5. Цінова перевага	Перевага продукції ціні	Представлення нового методу вимірювання та вказати на невелику ціну (порівняно з продуктами інших компаній) продукції
6. Марочна продукція	Виробництва продукту під власною маркою та логотипом	Розробка логотипу та марки, яка б відповідала спеціалізації компанії, та показувала б на чому спеціалізується компанія

Таблиця 4.15. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [56]

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Medonika (South Korea)	<u>Medonikia</u> (South Korea)	Компанії медичних приладів	Забезпечення якості та швидкості діагностик	Ціна, схожі типи конструкцій, якість, інші методи діагностик
Висновки:	Велика кількість продукції на ринку, що спричиняє важкість на перших етапах молодих компаній реалізувати свою продукцію	Компанія довго на ринку та має значну довіру в клієнтів, тим самим добре закріпила свої позиції сильного та надійного виробника	Сертифікованість продукції, відсоток від виробленого та проданого товару	Якісна оцінка стану здоров'я, ефективна робота на виробництві, довготривала робота приладів	Робота розглянутих приладів лише з певною віковою групою

Також необхідно навести чинники, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущими, тобто провести обґрунтування факторів конкурентоспроможності (табл. 4.16.) і провести порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту (табл. 4.17.).

Таблиця 4.16. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Новий метод діагностики	Новий метод дає точну та якісну оцінку при діагностиці за короткий час
2	Можливість працювати з ультразвуком	Найбільш переважний метод неінвазивної діагностики, що підходить усім
3	Можливість здійснювати діагностику	Компактність та простота приладу дає можливість використовувати його для

	будь якої частини кісткового скелету	діагностики будь якої частини кінцівок, а також дозволяє якісніше налаштовувати та калібрувати його
--	--------------------------------------	---

Таблиця 4.17. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Ультразвуковий денсиметр для діагностики остеопороза»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Новий метод діагностики	14			+				
2	Можливість працювати з ультразвуком	15		+					
3	Можливість легко пересунути до необхідної частини кінцівки	19			+				
4	Широкий тип матеріалів з якими може працювати прилад	10					+		
5	Діодна система оповіщення	10						+	
6	Змінні індентори	12					+		
7	Швидкість роботи	18						+	
8	Можливість безперервно працювати декілька годин	4			+				

SWOT- аналіз стартап-проекту [37], [39] застосовується у процесі стратегічного планування, що полягає в розділенні чинників і явищ на чотири категорії: сильних і слабких сторін проекту, можливостей, що відкриваються при його реалізації, та загроз, пов'язаних з його здійсненням (табл. 4.18).

Таблиця 4.18. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: здатність діагностувати вутко і точно, прилад є окремим пристрієм	Слабкі сторони: неможливість продукту підключатись до більш складних систем
Можливості: можливість аналізувати оброблені дані діагностики та надавати негайну роздруковку	Загрози: відмова підприємств з більш складними системами діагностики використовувати даний продукт

Таблиця 4.19. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Представлення нової якісної продукції	Отримання ресурсів від купівлі приладу з метою оцінити його, як новизну на ринку	16 місяців
2	Зосередженість на системах ультразвукової діагностики	Покупка продукту компаніями з даною системою діагностики	17 місяців
3	Представлення додаткових функцій продукту	Продаж додаткових комплектуючих для більш якісної роботи приладу	3 місяця

Наведена вище таблиця (табл. 4.19.) відображає загальну тенденцію до зростання ринкового впровадження стартап - проекту, велику ймовірність отримання ресурсів та строки реалізації проекту у 18 місяців.

Стратегія – це визначення основних довгострокових цілей та завдань підприємства, затвердження курсу дій і розподілу ресурсів, необхідних для досягнення цих цілей [38]. Для формування стратегії необхідно обрати цільові групи споживачів товару (табл. 4.20) та визначити базову стратегію розвитку (табл. 4.21.).

Таблиця 4.20. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Просто та входу у сегмент
1	Компанії що розробляють та	Використання продукту може	Групи компаній що використовув	Окремі установки для	Можливість збільшити

	обробляють деталі до медичних приладів та систем	зменшити кількість необхідних аналізів для встановлення діагнозу, що зацікавить споживачів	ють медичне обладнання	діагностики захворювання (рентгенівські, луневі та інші системи діагностики)	ефективність на виробництві (Просто)
2	Лабораторії для тестування та розробки проектів, що стосуються приладів які використовуються в медицині	Портативний денситометр можна використовувати для діагностики важкодоступних частин кісток	Компанії, що працюють з лабораторним обладнанням та лабораторії, як приватні так і державні	Можливість компаній створювати свій продукт, який зможе конкурувати з розробленим продуктом	Точне вимірювання зацікавить науковців які працюють в лабораторіях (Просто)
Які цільові групи обрано: обрано групу №1					

Таблиця 4.21. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Ультразвукові денситометри	Розвиток ідеї Залучення інвесторів Розробка прототипу Представлення продукту на виставках Реклама Співпраця з компаніями реалізаторами	Компактність Здатність на пряму здійснювати найбільш безпечні неінвазивні дослідження Зменшення кількості необхідних аналізів та перевірок для постановки точного діагнозу	Стратегія мінімізації витрат: Розробка недорогого продукту, за рахунок дешевих комплектуючих Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій Представленн

				я продукту на виставках
2	Мобільні переносні денситометри для клінічних досліджень	Розвиток ідеї Залучення інвесторів Розробка прототипу Представлення продукту на виставках Пошук та співпраця з науково-дослідними установами	Компактність Швидкість калібрування та налаштування перед проведенням дослідів Точність	Стратегія мінімізації витрат: Розробка недорогого продукту, за рахунок дешевих комплектуючих Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій Представлення продукту на виставках

Опорним моментом в орієнтації підприємства на конкурентному ринку є базова стратегія конкуренції (табл. 4.22), що являє собою основу конкурентної поведінки підприємства на ринку й окреслює схему забезпечення переваг над конкурентами [32]. Від її правильного вибору залежать всі подальші маркетингові дії та цінова політика.

Таблиця 4.22. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Моделі ультразвукового типу діагностики не є першопрохідцем на ринку, тому слід прийняти до уваги важкість конкурентноздатності приладу .	Компанія буде зосереджуватись на клієнтах компаній конкурентів, представляючи переваги свого продукту перед іншими продуктами	В даному продукті однаковими або схожими частинами з товаром конкурента, будуть змінні індентори та приймачі світлового потоку, що використовують для просвічування кінцівки. Інші частини продукту будуть оригінальними.	Наступальна війна, що полягатиме в нових властивостях і функціях продукту. Тип наступу-фланговий наступ, що буде включати в себе захоплення нових територій, а саме підприємства та компанії, які працюють з медичними приладами, в основному компанії що спеціалізуються на діагностиці.
2	Моделі денситометрів для клінік є на ринку і відмінністю даного продукту є нова методика вимірювання, що є значно точнішою.	Компанія буде зосереджувати свій напрямок у пошуку нових наукових приладів і систем діагностики, що	В даному продукті однаковими або схожими частинами з товаром конкурента, будуть джерела ультразвукового	Фланговий наступ та захоплення нових науково дослідних установ.

		відкриваються, тобто шукатиме нових споживачів	о випромінення для діагностики хвороби. Інші частини продукту будуть оригінальними.	
--	--	--	---	--

Зміст та процедура позиціювання товару на ринку описана в таблиці 4.23. Стратегія позиціювання [38] необхідна для того, аби обравши конкретний сегмент, фірма правильно визначила для себе, як проникнути на нього й здобути конкурентні переваги. Тобто позиціювання - це визначення місця товару фірми на ринку серед товарів-аналогів.

Таблиця 4.23.Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Здатність товару якісно і ефективно виконувати поставлену задачу. Можливість товару покращити діагностику	Стратегія мінімалізації витрат: Розробка недорогого продукту, за рахунок дешевих комплектуючих Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій Представлення продукту на виставках	Здатність денситометру найбільш точно надавати заключення, без необхідності додаткових аналізів(як для різних вікових категорій).	1. Робота з різними групами пацієнтів 2. Ефективність процесу діагностики 3. Точність
	Здатність продукту ефективно	Стратегія мінімалізації витрат:	Швидке налагодження роботи	1. Компактність 2. Швидке налаштування 3. Точність

	працювати в клінічних умовах	Розробка недорогого продукту, за рахунок дешевих комплектуючих Залучення внутрішніх та зовнішніх інвестицій Представлення продукту на виставках	представленого продукту при роботі в різних важкодоступних кістними тканинами	
--	------------------------------	---	---	--

4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього визначаємо ключові переваги концепції товару (табл. 4.24.) та аналізуємо три рівні товару моделі товару з оцінкою рівня захищеності від копіювання (табл. 4.25).

Таблиця 4.24. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Ефективні приладів діагностики за разунк використання ультразвуку	Здатність швидко і точно робити діагностику	Можливість встановити будь де та надати можливість людям різних вікових категорій зручно робити діагностику
2.	Ефективні та точні переносне клінічне обладнання	Швидке калібрування та налаштування	Легкість, та переносимість приладу, та її простота у використанні

Таблиця 4.25. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопорозу		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристик и	M/Hm	Tx /Тл/Е
	1. Час сканування 15 с 2.Вимірювання	SOS (C.V.%) 0.2	E Tx
	3. Навантаження 4. Умови експлуатації: 10°С...+40°С	BUA (C.V.%) 1.5	
	5. Габаритні розміри, не більше 615х293х310 мм 6. Маса, не більше 12 кг	BQI (C.V.%) 1.5 100-240	
	Якість: вимірювання в межах - 0,0009...1%		
	Пакування здійснюється в спеціально розроблений кейс, де також є основні комплектуючі, такі як: змінні індентори, інструкція та бум ага для друку по замовленню		
III. Товар із підкріпленням	Марка: COMPANY MEDICAL DIAGNOSTICS, Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза		
	До продажу: Денситометр Після продажу: Ультразвуковий денситометр з можливістю моментального друку результатів діагностики		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування виробу та його складових, та закритість та закритий тип продукту, печатки на продукті, можливість ремонту тільки в сервісному центрі компанії виробника.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар. Встановлення цін проводиться експериментальним методом (табл. 4.26.).

Таблиця 4.26. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	20000-30000 грн	20000-45000 грн	150000 грн/міс. – 1000000 грн/міс.	15000 грн – 380000 грн
2.	20000-35000 грн	20000-40000 грн	100000 грн/міс. – 2000000 грн/міс.	10000 грн – 350000 грн

Далі визначаємо оптимальну системи збуту, в межах якої приймається рішення (табл. 4.27.). Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.28). Концепція маркетингових комунікацій спирається на попередньо обрану основу для позиціонування та визначену специфіку поведінки клієнтів.

Таблиця 4.27. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Необхідність в приладах для діагностики захворювання	Якісне обладнання доставлене в потрібне місце в заданий час	Продаж компаніям та підприємствам з ухилення на діагностику	Тендери, виставки, магазини з контролю здоров'я, інтернет магазини
2	Необхідність клінічних установ у приладах для діагностики тяжко доступних кістних тканин	Якісне обладнання доставлене в потрібне місце в заданий час	Продаж науково-дослідним установам які потребують такі продукти	Тендери, виставки, магазини з контролю та діагностики здоров'я, інтернет магазини

Таблиця 4.28. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в агресивних середовищах	Тендери, виставки, інтернет ресурси, магазини спеціального обладнання	Робота з ультразвуком, ефективність при різних вікових та етнічних категоріях пацієнтів	Показати клієнтам яким чином можна збільшити ефективність та простоту діагностики за допомогою даного продукту	Продукт може використовуватись для діагностики захворювання у всіх людей
2	Пошук продуктів які відповідають критеріям: ціна – якість, компактність, точність, здатність працювати в нестабільних середовищах, переносимість, простота, надійність	Тендери, виставки, інтернет ресурси, магазини спеціального обладнання	Переносне, контрольне та діагностичне обладнання для клінічно-дослідних установ	Показати клієнту основні позитивні аспекти і переваги при використанні даного продукту	Робота продукту з різноманітним нахилами та типами тканин, велика точність, простота у використанні

4.5. Планування реалізації стартап-проекту

Метою складання виробничого плану є доведення можливості ефективного організаційного та ресурсного забезпечення проекту, демонстрація ефективності реалізації стартап – проекту за допомогою обраних організаційних рішень [39]. Складено календарний план-графік реалізації проекту за формою, наведеною в таблиці 4.29.

Таблиця 4.29. Календарний план-графік реалізації стартап-проекту

з/ п	Етапи реалізації	Період реалізації проекту						
		0-й рік ¹				1	2	3
		1 -й кв.	2 -й кв.	3 -й кв.	4 -й кв.	-й рік	-й рік	-й рік
1.	Проведення НДДКР	+	+	+	+	+	+	
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	+	+	+	+	+	+	
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	+	+	+	+	+		
4.	Створення компанії				+	+		
5.	Придбання нематеріальних активів, отримання дозвільних документів тощо			+	+			
6.	придбання й оренда земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд					+		
7.	Придбання обладнання, устаткування та пристроїв				+	+		
8.	Передвиробничі маркетингові дослідження		+	+				
9.	Приймально-здавальні випробування		+	+	+			
10.	Пусконаладжувальні роботи		+	+				
11.	Освоєння проектних потужностей				+	+		
12.	Придбання матеріальних ресурсів	+	+	+	+	+	+	+
13.	Запуск виробництва					+	+	+
14.	Продаж продукції					+	+	+

¹ Тут і далі в стовпці «0-й рік» відображаються види діяльності та (або) витрати, що мають бути понесені до початку основної діяльності за проектом

Таблиця 4.30. Планова потреба у виробничому обладнанні та устаткуванні

№ з/п	Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Кількість одиниць	Площа, кв. м	Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Умови надання	Вартість, тис. грн.
1.	Офісне приміщення	1	36	Відповідно до ДСТУ	Оренда	15 тис грн/місяць
2.	Лабораторне приміщення	1	50	Відповідно до ДСТУ	Оренда	25 тис грн/місяць
Разом			86	—	—	40 тис грн/місяць

Обсяг витрат на залучення нематеріальних активів, необхідних для реалізації стартап-проекту наведеною в табл. 4.31.

Таблиця 4.31. Планова вартість нематеріальних активів

№ з/п	Вид активів	Активи, що можуть бути віднесені до даного виду	Вартість, тис.грн.
1.	Права користування природними ресурсами	(право користування надрами, іншими ресурсами природного середовища, геологічною та іншою інформацією про природне середовище)	---
2.	Права користування майном	(право користування земельною ділянкою відповідно до земельного законодавства, право користування будівлею, право на оренду приміщень тощо)	40 тис. грн.
3.	Права на комерційні позначення	(права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо)	---
4.	Права на об'єкти промислової власності	(право на винаходи, корисні моделі, промислові зразки, сорти рослин, породи тварин, компонування інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, у тому числі ноу-хау, захист від недобросовісної конкуренції)	80 тис. грн.
5.	Авторське право та суміжні з ним права	(право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо)	10 тис. грн
6.	Інші активи	(право на провадження діяльності, використання економічних та інших привілеїв тощо)	---

Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту (в натуральних показниках) по роках наведено в табл. 4.32.

Таблиця 4.32. Плановий обсяг виробництва продукції стартап-проекту

Вид продукції	Одиниця виміру	Обсяги виробництва за період		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
Прилад	шт	500	2000	5000

Обсяг витрат на забезпечення стартап-проекту матеріальними ресурсами та комплектуючими по роках наведено в табл. 4.33.

Таблиця 4.33. Планова потреба у матеріальних ресурсах та комплектуючих

№ з/п	Вид ресурсу	Одиниця виміру	Витрати на одиницю продукції в натуральних показниках	Вартість на одиницю продукції, тис. грн.	Вартість за плановим обсягом виробництва за період, тис грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Комплектуючі						
1.1.	Корпус	шт		0,3	0,6	-	-
1.2	Вимірювальна діафрагма	шт		0,5	0,7	-	-
1.3	Верхня кришка	шт		0,1	1	-	-
1.4	USB дрiт	шт		0,1	0,2	0,5	0,5
1.5	Друкована плата	шт		1	3	4	4
1.6	Вимірювальна голівка	шт		1,5	3	4	4
1.7	Ричаг	шт		0,3	1	1,5	1,6
Всього комплектуючих		—	—	3,8	9,5	10	10,1
2.	Сировина						
2.1.	Біологічні зразки			5	10	10	10
Всього сировини				5	10	10	10
Разом:		—	—	8,8	19,5	20	20,1

Потреба та обсяг витрат на залучення адміністративного та промислово-виробничого персоналу, необхідного для реалізації проекту наведеною в табл. 4.34.

Таблиця 4.34. Планова потреба та витрати на персонал

№ з/п	Категорія персоналу	Чисельність	Заробітна плата, тис грн. на місяць	Відрахування на соціальні заходи, тис грн. на місяць	Витрати на оплату праці за період, тис. грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Інженер-електрик	1	15	2,76	170	200	226
2.	Інженер-конструктор	1	15	2,19	170	200	190
3.	ІТ- спеціаліст	1	12	2,28	144	168	190
4.	Менеджер-маркетолог	1	13	2,47	156	180	210
Разом:			55	9,7	640	748	816

З урахуванням даних з таблиць 4.29 – 4.34 визначаємо обсяг загальних початкових витрат, необхідних для реалізації проекту за формою, наведеною в таблиці 4.35.

Таблиця 4.35. Загальні початкові витрати проекту

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
1.	Проведення НДДКР	8
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	10
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	8
4.	Витрати на придбання й оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	470
5.	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	1500
6.	Витрати на приймально-здавальні випробування	15
7.	Витрати на пусконаладжувальні роботи	11
8.	Комплексне освоєння проектних потужностей	6

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
9.	Витрати на придбання нематеріальних активів	155
10.	Одноразові виплати, зокрема гарантуючим і страховим організаціям	70
11.	Витрати на створення оборотного капіталу, необхідного для початку операційної діяльності (створення виробничих запасів, передоплата сировини, матеріалів і комплектуючих виробів, які мають бути поставлені на початку операційної діяльності)	70
12.	Податкові платежі (земельний, комунальний та інші), здійснені до початку операційної діяльності	55
13.	Оплата юридичних послуг	40
14.	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	25
15.	Витрати, пов'язані з діяльністю персоналу	700
Разом		3348

У таблиці 4.36 визначено планові загальногосподарські витрати.

Таблиця 4.36. Планові загальногосподарські витрати

№ з/п	Стаття витрат	Витрати за період, тис. грн.		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Витрати на оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	470	470	470
2.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	1500	150	150
3.	Витрати на придбання нематеріальних активів	155	155	155
4.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	700	700	700
5.	Витрати на зв'язок	35	35	40
6.	Витрати на утримання обладнання та приміщень	40	40	40
7.	Витрати на збут	30	40	35
8.	Витрати на просування та рекламу	80	30	20
9.	Оплата юридичних послуг	40	40	40
Разом:		3050	1660	1650

У таблиці 4.37 визначено загальний організаційний план.

Таблиця 4.37. Загальний організаційний план

Критерій	Зміст
Основна освіта	Інженер
Додаткова освіта, спеціалізація	Економіст
Необхідний досвід роботи	Без досвіду
Завдання	Конструкторське проектування
Знання	Програмного забезпечення для 3Д моделювання та розробки друкованих плат
Навички, вміння, ділові якості	Вміння швидко приймати рішення
Особистісні якості	Пунктуальність, відповідальність, не конфліктність
Мотивація (що можемо запропонувати)	Амбіціозний, компанійський колектив, хороша заробітна плата та премії

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Даний 4 розділ магістерської дисертації «Розробка стартап-проекту» присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, аналізу потенційних техніко-економічних переваг ідеї, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту, визначення попереднього кола конкурентів та розроблення маркетингової стратегії.

Використовуючи різні методи, зробивши повний огляд та аналіз проекту, можна сказати, що просування продукту на ринку несе сприятливий характер. На прилад для ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза організму наявний попит, а робота на ринку є рентабельною. Отже, з огляду на потенційні групи клієнтів (дослідницькі групи, лікарні, реабілітаційні центри, спеціалізовані магазини, тощо) комерціалізація проекту можлива з перспективами впровадження продукту.

Також важливо зазначити, що продукт є конкурентоспроможним за рахунок ряду його переваг над аналогами: значно нижча ціна, порівняно з конкурентами, простота у використанні, багато можливостей до удосконалення та оптимізації роботи приладу.

Подальша реалізація проекту є доцільною, за прогнозами очікується отримати прибуток в результаті запуску продукту на ринок, динаміка ринку медичної апаратури позитивна, а також якісні відмінності нашого продукту від конкурентних продуктів показує перспективні результати в подальшому.

В результаті аналізу даних для впровадження стартап – проекту було визначено основне завдання для успішного розвитку – це постійна підтримка і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка клієнтської бази на постійній основі, вдосконалення роботи.

Даний розділ виконувався у вигляді оцінки усіх можливих заходів з формування ринкового впровадження, оцінкою всіх аспектів та ризиків і є завершальною частиною магістерської дисертації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Швидкі темпи розвитку сучасної медицини, медичного обладнання, діагностичних заходів та медичного приладобудування постійно ставить питання підвищення точності, достовірності та якості діагностики захворювань систем організму людини.

Найбільш поширеними методами неінвазивної діагностики є ультразвукова кісткова денситометрія, двох-енергетична рентгенівська денситометрія (абсорбціометрія), рентгенівська периферична кісткова денситометрія, двох-фотонна абсорбціометрія та кількісна комп'ютерна денситометрія. Рідше застосовують оптичний метод денситометрії, який полягає в аналізі оптичного випромінювання, що розповсюджується в біологічних тканинах, але цей метод ще тільки удосконалюється. Всі методи мають свої як переваги, так і недоліки.

Кількісне ультразвукове дослідження являє собою метод, який використовується для оцінки цілісності скелета в легкодоступних периферійних ділянках, які виконуються на п'яткової кістки (п'ятка), зап'ясті, фалангах і гомілки. Техніка передбачає генерування ультразвукових імпульсів, які передаються крізь досліджувану кістка або уздовж неї.

Ультразвук має ряд невід'ємних переваг в порівнянні з загальноприйнятим методом DXA, такі як низька вартість, відсутність іонізуючого випромінювання, мінімальні нормативні вимоги, портативність, а також той факт, що ультразвуковий метод визначає параметри мікроархітекtonіки кістки на ряду з показником щільності кісткової тканини.

Тест на міцність кістки може допомогти встановити діагноз остеопору/остеопенії, допоможе передбачити ризик подальших переломів і контролювати зміни структури кісток. Втрата маси тіла починається вже після 25 років, а наявність навіть 1 перелому підвищує ризик наступного в 5 разів. Вчасна діагностика допомагає виявити порушення, а також надає можливість почати лікування вчасно з ранніх стадій, коли це можливо за допомогою зміни способу життя, корекції харчування або за допомогою медикаментозного

втручання.

Чим більша база даних та критеріїв для порівняння результатів діагностики, тим точніший буде кінцевий аналіз та діагноз конкретних випадків.

Характеристики п'єзоелемента найбільше впливають на кінцеві характеристики приладу ультразвукової діагностики. Було проведено ряд розрахунків та експериментальних дій та обрано таких тип п'єзоелементу, який дозволить покращити роботу приладу для діагностики остеопороза. Окремо було виконано розрахунки для схеми акустичного тракту, задачами яких було знайти такий коефіцієнт акустичного тракту, що буде досягати максимального значення, не погіршуючи інші характеристики роботи, такі як погрішність вимірювання та вірогідність контролю, а також коефіцієнти відбиття та затухання по тиску.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. Поворознюк В.В., Подрушняк Е.П., Орлова Е.В. и др. Остеопороз на Украине. – Киев, 1995. – 48 с.
- [2]. Поворознюк В.В. Остеопороз у населення України: фактори ризику, клініка, діагностика, профілактика і лікування. Автореф. дис. ... д. мед. н. – Київ, 1998. – 49 с
- [3]. Генант Г.К., Купер С., Пур Г. и др. Рекомендации рабочей группы ВОЗ по обследованию и лечению больных остеопорозом // Остеопороз и остеопатии. – 1999. – №4. – С. 206
- [4]. Eastern European & Central Asian Regional Audit: Epidemiology, costs & burden of osteoporosis in 2010. International Osteoporosis Foundation. 2010.
- [5]. Белосельский Н.Н. Рентгенодиагностическое и рентгеноморфометрическое исследование позвоночного столба при остеопорозе / Н.Н. Белосельский, О.Б. Ершова // Научно-практическая ревматология. – 2000. – №3. – С. 4 –11.
- [6]. Поворознюк В.В. Сучасна погляд на проблему остеопорозу у чоловік в Україні / В.В. Поворознюк, Т.В. Орлик, Є.О. Креслов // Боль. Суставы. Позвоночник. – 2012. – № 2. – С. 22 – 27.
- [7]. Глухов А. В. и др. Остеопороз и хроническое обструктивное заболевание лёгких. Медицинский журнал «Новости медицины и фармации». 2010. 318: 28–32.
- [8]. L. Verboom et al. Current status of research on osteoporosis in COPD: a systematic review. European Respiratory Journal. 2009, 34: 209–218.
- [9]. Ebeling P. R. Osteoporosis in men. The New England Journal of Medicine. 2008, 358: 1474–1482.
- [10]. Kanis J. A. и др. Європейські рекомендації з діагностики та ведення остеопорозу у жінок в постменопаузальному періоді. Український ревматологічний журнал. 2008, 4 (34): 10–15.
- [11]. Johnell O. Predictive value of BMD for hip and other fractures / O. Johnell, J.A. Kanis, A. Oden [et al.] // J. Bone Miner Res. – 2005. – Vol. 20. – P. 185 – 194

- [12]. WHO Scientific Group on the Assessment of Osteoporosis at Primary Health Care Level: Summary Meeting Report. – Brussels, Belgium; May 5 – 7, 2004. – Geneva, Switzerland. – P. 54.
- [13]. Верткин А.Л. Распространенность факторов риска и клинических маркеров остеопороза в клинике внутренних болезней / А.Л. Верткин, А.В. Наумов, Е.И. Горулева и др. // Лечащий врач. – 2006. – № 2. – С. 69.
- [14]. Исмаилов С.И. Современный взгляд на проблему остеопороза у пожилых мужчин / С.И. Исмаилов, У.А. Мирсаидова // Междунар. эндокринол. журнал. – 2011. – № 7 (39). – С. 41 – 43.
- [15]. Povoroznjuk V. Evalution of validity of IOF's one-minute osteoporosis risk test for postmenopausal women / V. Povoroznjuk, N. Dzerovich, T. Karasevskaya // Calcified Tissue International. – 2007. – Vol. 80. – P. 168 – 169.
- [16]. Mullender MG, Van Der Meer DD, Huiskes R, Lips P. Osteocyte density changes in aging and osteoporosis. Bone. 1996;18(2):109–113. doi:10.1016/8756-3282(95)00444-0
- [17]. Clarke B. Normal bone anatomy and physiology. Clin J Am Soc Nephrol. 2008;3(Suppl 3):131–139. doi:10.2215/CJN.04151206
- [18]. Тимчик Г.С., Скицюк В.І. Інформаційні технології діагностики стану біотехнічних об'єктів : монографія. – Київ: НТУУ"КПІ", ВПК "Політехніка", 2017. – 344 с.
- [19]. Физические основы использования ультразвука в медицине : учебн. пособ. / И. И. Резников, В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов, А.Р. Зубарев та др. – Київ : УДК, 2015. – 13 с.
- [20]. М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, Яковенко І.О. «Акустичні медичні прилади»: Метод. вказівки до викон. курсового проекту та розрахунково-графічної роботи для студ. напряму підготовки 6.051003- «Приладобудування» програми професійного спрямування «Медичні прилади і системи»/Уклад.: М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, І.О. Яковенко - К.: НТУУ «КПІ», 2016.- 174 с
- [21]. В.К.Цапенко, Ю.В. Куц. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В.К.Цапенко, Ю.В. Куц; –Київ:НТУУ “КПІ”.- 2009. - 431 с.,

- [22]. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст] : навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с. <https://oocp.kpi.ua/downloads/disc/anton.pdf>
- [23]. Біофізика і біомеханіка [Текст] : підруч. / В.С.Антонюк, М.О Бондаренко., В.А.Ващенко, Г.В. Канаšевич, Г.С. Тимчик, І.В. Яценко – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 344 с.
https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Antonuk.Bondarenko.Vaschenko.Kanashevich.Timchik.Yacenko.Biofizika_i_biomehanika.pdf
- [24]. Біофізика в задачах та прикладах [Текст]: навч. посіб. / В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, М.О. Бондаренко В.А. Ващенко Ю.Ю. Бондаренко, С.О. Білокінь, А.М. Рубан. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 206 с. : іл.– Бібліогр. : с. 196-198.
https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/11/Antonjuk_Timchik_Bondarenko_Biofizika_v_zadachah_ta_prikladah.pdf
- [25]. Шуба Н. М. Остеопороз – актуальная проблема XXI века: современное представление о патогенезе и терапии. Український ревматологічний журнал. 2008, 2 (32): 5–11.
- [26]. Фролова Т.В. Остеопороз у детей и подростков: современный взгляд на проблему / Т.В. Фролова, О.В. Охупкина, А.В. Берус // Здоровье ребенка. — 2006. — № 2. — С. 106—110
- [27]. Щеплягина Л.А. Минеральная плотность кости у детей и подростков / Л.А. Щеплягина, Т.Ю. Моисеева, А.О. Богатырева // Актуальные проблемы подростковой медицины / под ред. А.Г. Румянцева, Д.Д. Панкова. — М.: Медпрактика, 2002. — С. 110—117.
- [28]. Cremers S. Biochemical markers of bone turnover in clinical development of drugs for osteoporosis and metastatic bone disease: potential uses and pitfalls / S. Cremers, P. Garnero // Drug. — 2007. — Vol. 6. — P. 2031—2058.
- [29]. Ringe J. D. Osteoporosis in men. Medicographia. 2010, 32: 71–78.
- [30] Рубченко Т.И. Эффективность различных методов денситометрии в прогнозировании и ранней диагностике остеопороза у женщин с хирургической

- и естественной менопаузой / Т.И.Рубченко, Е.А.Лепарский, И.П.Ларичева и др. // Вести. Рос. ассоц. акушеров и гинекологов. - 1999. - №4. - С.103-107
- [31] Усольцева Е.Н. Особенности показателей ультрасонометрии женского населения города Челябинска / Е.Н.Усольцева, О.В.Сафронов, Е.В.Брюхина // Остеопороз и остеопатии. - 2005. - №2. - С.25-29
- [32]. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / [О. А. Гавриш, С. О. Солнцев, В. В. Дергачова та ін.]. – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016. – 27 с.
- [33]. Кофанов О. Є. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ СТРАТЕГІЇ СТАРТАП-ПРОЕКТІВ НА ПРОМИСЛОВОМУ РИНКУ / О. Є. Кофанов, О. В. Зозульов. // Економічний простір. – 2016. – №115. – С. 202–2011.
- [34]. Поліщук В. В. «СТАРТАП ПРОЕКТИ ТА ЇХ ОЦІНЮВАННЯ» Конспект лекцій / В. В. Поліщук. – Ужгород, 2016. – 74 с.
- [35]. Купер, Б. Стартап вокруг клиента: как построить бизнес с самого начала / пер. с англ. В. Кулаевой / Б. Купер. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2011. - 151с.
- [36]. МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ [Електронний ресурс] // WIKI. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://groupdynamics.kspu.edu/wiki/a/11>.
- [37]. Маллинс, Дж. Поиск бизнес-модели : как спасти стартап, вовремя сменив план / Дж. Маллинс, Р. Комисар ; пер. с англ. М. Пуксанта и Е. Бакушевой. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 329 с.
- [38]. Розробка маркетингової стратегії [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://polka-knig.com.ua/article.php?book=536&article=26841>.
- [39]. БАЗОВА СТРАТЕГІЯ КОНКУРЕНЦІЇ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ФОРМУВАННЯ РИНКОВИХ ЦІН [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://buklib.net/books/23179/>.

[40]. Терещенко М.Ф. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини / Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування.-2010.-№39 .-С. 130-136.

ДОДАТОК А

«Акт впровадження в науково-дослідну роботу
результатів магістерської дисертації»



ЗАТВЕРДЖУЮ
 Декан інструментального факультету
 Григорій ТИМЧИК
 «14» 12 2020 р.

АКТ
 впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської
 дисертації

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ОРГАНІЗМУ»

Роботу виконано студенткою II курсу КПІ ім. Ігоря Сікорського,
 ПБФ гр. ПБ-392мп

Смолкою Альоною Сергіївною

В організації «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ПБФ, кафедра виробництва
 приладів.

Матеріали магістерської дисертації включено до:

1. Звітів науково-дослідних робіт кафедри виробництва приладів КПІ ім.
 Ігоря Сікорського, а саме:

– НДР «Створення фундаментальних принципів комп'ютерно-
 інтегрованої діагностики стану біотехнічних об'єктів»,
 ДР 0116U006058 – в якості прикладів створення принципів систем
 діагностики та лікування.

2. Лекційного матеріалу дисциплін «Фізіотерапевтична апаратура»,
 «Оптичні медичні прилади» (для заочної форми навчання) у частині
 схематичних рішень побудови інтегрованих автоматизованих медичних
 систем.

Голова комісії:

доцент, к.т.н. Марина ФІЛІПОВА

Члени комісії:

ст. н.с., к.т.н. Володимир СКИЦЮК

доцент, с.н.с., к.т.н. Тетяна КЛОЧКО

ДОДАТОК Б

« Список наукових та навчально-методичних праць »

СПИСОК
наукових та навчально-методичних праць
Смолки Альони Сергіївни

№ п/п	Назва (мовою оригінала)	Вихідні данні	Обсяг друк. Стор.	Співавтори
1	2	3	4	5
1	Метод визначення щільності кісткової тканини організму (тези)	XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 08-09 грудня 2020 р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури, 2020, на секційному засіданні, у доповіді «Метод визначення щільності кісткової тканини організму».	4	Клочко Т.Р.

Автор

Альона СМОЛКА

Список засвідчую
Декан ПБФ НТУУ «КПІ ім.
Ігоря Сікорського»
д.т.н., проф.

Григорій ТИМЧИК

ДОДАТОК В

«Матеріали презентації»



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»
КАФЕДРА ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ НА ТЕМУ: «Метод визначення щільності кісткової тканини організму»

Доповідач:

Смолка А.С. студентка 2 курсу
ПБ-392мп

Науковий керівник – к.т.н., доц.
Клочко Т.Р.

Київ - 2020

Мета дослідження:

Покращити діагностику порушень мінеральної щільності кісткової тканини шляхом удосконалення існуючого методу дослідження

Задача дослідження:

- Оцінити дані денситометрії з метою діагностики остеопенії та остеопорозу на підставі проведеного огляду та аналізу методів дослідження
- Обґрунтувати найбільш оптимальний з огляду на достовірність та безпеку впливу на біологічні об'єкти метод визначення мінеральної щільності кісткової тканини
- Удосконалити обґрунтований метод дослідження для підвищення точності діагностики; експериментальне дослідження

Об'єкт дослідження:

Кісткова тканина організму

Предмет дослідження:

Остеопенія, остеопороз, методи визначення та діагностики порушень в кістковій тканині

Методи дослідження:

Клінічні, ультразвукова діагностика, оглядова рентгенографія, лабораторні (загально-клінічні показники).

Методика реалізації поставлених задач:

Методом математичного моделювання та шляхом аналізу загально-клінічних показників

Наукова новизна:

Удосконалено метод визначення порушень в ультразвукових денситометрах, автоматизація процесів під час обробки і отримання результатів

ВСТУП

Остеопороз (від грецького «*ostéon*» – кістка і «*rógos*» – отвір, пора) – системне захворювання скелета, що характеризується зменшенням кісткової маси тканини, порушенням мікроархітекtonіки кістки, що призводить до підвищення крихкості кісток і збільшення ризику переломів.

За Т-критерієм, єдиним універсальним діагностичним показником, оцінюють вираженість остеопенії (доклінічна стадія ОП) або остеопорозу.

Значення Т – критерію трактується наступним чином: від 3,0 до –1,0 – як норма; від –1,0 до –2,5 – як остеопенія; від –2,5 до –5,0 – як ОП.

Методи визначення денситометрії

- Ультразвукова кісткова денситометрія
- Двох-енергетична рентгенівська денситометрія
- Рентгенівська периферична кісткова денситометрія
- Двох-фотонна абсорбціометрія
- Кількісна комп'ютерна діагностика
- Оптичний метод денситометрії

Ультразвукова кісткова денситометрія



Рисунок 1 Визначення щільності кісткової тканини в кисті, фалангах, на кістках стоп і гомілковій.



Ультразвукова денситометрія

Ультразвукова денситометрія заснована на вимірі швидкості поширення ультразвукової хвилі по поверхні кістки, а також вимірі широкосмугового розсіювання ультразвукової хвилі в досліджуваній кістці. Зазначені параметри можуть відображати еластичність, щільність і твердість кісткової тканини.

Рисунок 2. Приклад обладнання для УЗ діагностики

Експериментальні дослідження

Вибір п'єзoelementу випромінювача та розрахунок параметрів.

У конструкцію денситометра входить випромінювач, основним елементом якого є п'єзoelement, розміри і форма якого визначається в залежності від умов використання.

Щільність кістки в області шийки стегна і в п'ятці у жінок практично збігаються. Беручи до уваги цей факт, представлено схематичне зображення принципу роботи УЗ приладів для вимірювання МЩКТ в п'ятичній кістці.



Рисунок 3. Прилад для діагностики МЩКТ в п'ятці

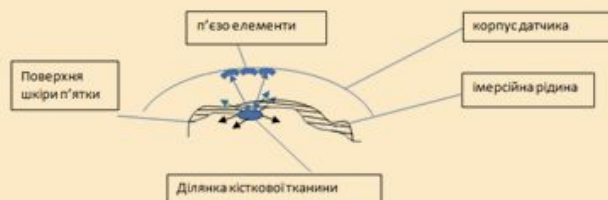


Рисунок 4. Схематичне зображення принципу роботи УЗ приладів

Покращення характеристик УЗ денситометра можливо досягнути за рахунок збільшення або зменшення поперечних розмірів п'єзоелемента. Збільшення веде до підвищення чутливості в дальній зоні, проте спричиняє за собою зниження достовірності і відтворюваності результатів в ближній зоні. Зменшення поперечних розмірів п'єзоелемента приводить до зменшення чутливості, втрачається поперечна (кутова, фронтальна) роздільна здатність.

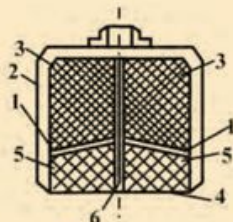


Рис. 4. Приклад вигляду РС перетворювача, де 1 – п'єзоелемент; 2 – корпус; 3 – демпфер; 4 – протектор; 5 – призма; 6 – акустичний екран

Використання роздільно-сумішеного перетворювача дозволить покращити роботу приладу, шляхом значного зменшення шумів, а також, зменшення кута між нормаліми п'єзоелемента та об'єктом контролю, що надає безпосередній вплив на частоти роботи УЗ денситометра. Також РС перетворювачі відрізняються високою чутливістю.

Визначення товщини шару матеріалу випромінювача за формулою:

$$t = \frac{c}{2 \cdot f}; \quad (3.1)$$

Еквівалентна схема акустичного тракту

Метод кількісної ультразвукової кісткової денситометрії заснований на вимірюванні швидкості поширення ультразвукової хвилі вздовж або поперек кістки.

Вимірюється швидкість проходження звуку, яка вказує на щільність кісткової тканини.

Знаходження щільності кісткової тканини методом кількісної ультразвукової діагностики впливає з законів поширення ультразвуку в різних середовищах (табл.).

Середовище	Щільність кг/м³	Швидкість ультразвуку м/с
Повітря	1,3	330
Вода	1000	1430
Кров	1060	1570
Мозок	1025	1510
Жирова тканина	952	1350
М'язи	1075	1560
М'які тканини	1060	1540
Кістки (межі вимірювань)	1400-1900	2500-4080

Табл. 1. Наближені значення швидкості ультразвуку в різних середовищах при температурі 36° С

Акустичний тракт – це шлях УЗ хвилі від випромінюючого перетворювача , через біологічну тканину, до перетворювача-приймача.

Основним результатом розрахунку акустичного тракту є коефіцієнт послаблення акустичного тракту:

$$K_{\text{А.Т.}} = \frac{P_{\text{П}}}{P_{\text{В}}}, \quad (3.2)$$

Входження ультразвуку в біологічні тканини здійснюється приблизно під кутом 3° . Розрахунок кута заломлення на межах розраховується за формулою:

$$\frac{C_{\text{шкіра}}}{C_{\text{жол}}} = \frac{\sin \theta_{\text{шкіра}}}{\sin \theta_{\text{жол}}} \quad (3.3)$$

Акустичні імпеданси шарів обчислюються за формулою:

$$Z = C * p \quad (3.4)$$

Середовище	См/с	ρ , кг/м ³	$Z \cdot 10^6$, Па·с/м
1. Шкіра	1490	1311	1.95
2. Жирова тканина	1350	952	1.28
3. М'язова тканина	1560	1075	1.67
4. Кісткова тканина	2500	1695	4.23

Таблиця 2.
Параметри
біологічних шарів

Розрахунок коефіцієнтів проходження по інтенсивності T_I :

$$T_I = \frac{4z_1z_2}{(z_1 + z_2)^2}, \quad (3.5)$$

Розрахунок коефіцієнтів відбиття по тиску R_p :

$$R_p = \frac{|z_2 - z_1|}{|z_2 + z_1|}, \quad (3.6)$$

Розрахунок довжини хвиль в середовищах, через які проходить УЗ:

$$\lambda = \frac{C_{\text{шару}}}{f}, \quad (3.7)$$

Загальна формула для знаходження товщини шару:

$$h'_i = \frac{C_i}{2f}, \quad (3.8)$$

$$h_i = h'_i / \cos \theta_i, \quad (3.9)$$

Розрахунок коефіцієнтів акустичного тракту:

$$S = \frac{\pi}{4} 10^{-6} = 0,785 \cdot 10^{-6}$$

$$K_{AT.1} = \frac{S'}{h_1 \cdot \lambda_1} T_{I1} R_{p1} e^{-2\lambda_1 \alpha_{p1}} \quad , \quad (3.10)$$

$$K_{AT.2} = \frac{S'}{(h_1 + h_2) \cdot \lambda_2} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot R_{p2} e^{-2(\lambda_1 \alpha_{p1} + \lambda_2 \alpha_{p2})} \quad , \quad (3.11)$$

$$K_{AT.3} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3) \cdot \lambda_3} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot R_{p3} e^{-2(\lambda_1 \alpha_{p1} + \lambda_2 \alpha_{p2} + \lambda_3 \alpha_{p3})} \quad , \quad (3.12)$$

$$K_{AT.4} = \frac{S'}{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \cdot \lambda_4} T_{I1} \cdot T_{I2} \cdot T_{I3} \cdot T_{I4} \times \\ \times R_{p4} e^{-2(\lambda_1 \alpha_{p1} + \lambda_2 \alpha_{p2} + \lambda_3 \alpha_{p3} + \lambda_4 \alpha_{p4})} \quad , \quad (3.13)$$

Порівнюємо графіки залежності коефіцієнтів акустичного тракту при кардинально різних кутах входження ультразвуку в біологічні тканини :



Рис. 5. Залежність коефіцієнту загасання акустичного тракту від глибини проникнення



Рис. 6. Залежність коефіцієнту загасання акустичного тракту від глибини проникнення

Автоматизація технології вимірювання щільності кісткової тканини практично виключає залежність від досвіду оператора.

Використовуючи бази даних УЗ, що гарантують певний стандарт якості, виключаємо можливі шуми і артефакти, виникнення яких можливе у ході діагностики.



Рис. 7. Структурна схема автоматизації постановки діагнозу

Також час проведення комплексної процедури діагностики з отриманням кінцевих результатів значно скорочується при автоматизації отримання результатів шляхом автоматичного друку, після завершення діагностики. Наведено структурну схему автоматизації процесу постановки діагнозу.

Розробка Стартуп-проекту

- Стартуп – це підприємницький проект, який завжди оцінюється вище своєї поточної вартості
- Узагальнюючи основні етапи розроблення стартуп-проекту можна виділити:
 - маркетинговий аналіз
 - організація стартуп-проекту
 - фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків
 - заходи з комерціалізації проекту.



Рис. 8. Схема зв'язків робочої команди

Коротка анотація стартап проекту “Ультразвуковий денситометр для діагностики остеопороза організму”

Опис проблеми, яку вирішує проект	Недосконала конструкція існуючих аналогів приладів для ультразвукової діагностики остеопороза організму людини, а також необ'єктивна оцінка ушкоджень.
Головні цілі та Завдання проекту	Удосконалити конструкцію приладу для діагностики остеопороза та покращити його основні параметри, підвищити якість виявлення хвороби на ранніх стадіях.

Таблиця 3. Інформаційна картка проекту



Рис. 9. Етапи еволюції ідеї

Висновки

1. Оцінили дані денситометрії з метою діагностики остеопенії та остеопорозу на підставі проведеного огляду та аналізу методів дослідження:
Техніка кількісної УЗ діагностики передбачає генерування ультразвукових імпульсів, які передаються крізь досліджувану кістку або уздовж неї.
2. Обґрунтувати найбільш оптимальний, з огляду на достовірність та безпеку впливу на біологічні об'єкти, метод визначення мінеральної щільності кісткової тканини.

Має ряд невід'ємних переваг, такі як низька вартість, відсутність іонізуючого випромінювання, мінімальні нормативні вимоги, портативність, а також той факт, що ультразвуковий метод визначає параметри мікроархітектури кістки на ряду з показником щільності кісткової тканини.

3. Удосконалити обґрунтований метод дослідження для підвищення точності діагностики.

Характеристики п'єзоелемента найбільше впливають на кінцеві характеристики приладу УЗ діагностики. Використання РС перетворювача надає можливість використовувати обладнання в малім куті входження УЗ. Проведено експериментальне дослідження для оцінки досконалості. Результати доцільні.