

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**  
**МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Шутко В.М.

«\_\_»\_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»  
ОПП «ФІЗИЧНА ТА БІОМЕТРИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

**Тема:** «Рентгенівський моноблок для томосинтезу з лінійкою  
випромінювачів на нанотрубках»

Виконавець:

студент групи МН-305Б/стн \_\_\_\_\_ Крижанівський К.В.

Керівник:

к.т.н. доцент \_\_\_\_\_ Мірошніченко О.С

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ доцент кафедри ЕРМІТ

КИЇВ 2023

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**  
**МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**  
**153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА», ОПП«ФІЗИЧНА ТА**  
**БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Шутко В.М.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

\_\_\_\_\_ Крижанівський Кирил Володимирович \_\_\_\_\_

(П.І.Б., випускника)

1. Тема дипломної роботи: «Рентгенівський моноблок для томосинтезу з лінійкою випромінювачів на нанотрубках» затверджена наказом ректора від «23» березня 2023 р. № 387/ст.
2. Термін виконання роботи: з«23» березня 2023р. по«21» травня 2023р
3. Вихідні дані до роботи: розробити систему дистанційного керування камерою.
4. Зміст пояснювальної записки: 1 Теоретичні основи розробки, 2 Аналіз технічних засобів, 3 РМТ з лінійкою випромінювачів на нанотрубках.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу: рисунки, зображення сенсорів, модулів, пристрою.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1.	Затвердження теми бакалаврської роботи	23.03.2023р	
2.	Вивчення літератури	24.03.2023р.- 03.04.2023р.	
3.	Теоретичні основи розробки	04.04.2023р.- 09.04.2022р.	
4.	Вибір технічних засобів	10.04.2023р.- 22.04.2022р.	
5.	Апаратно-програмна реалізація	23.04.2023р.- 14.05.2023р.	
6.	Оформлення та усунення недоліків дипломної роботи	15.05.2023р.- 21.05.2023р.	

Дата видачі завдання: «23» березня 2023 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Мірошніченко  
О.С

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Крижанівський К.В.  
(підпис випусника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Рентгенівський моноблок для томосинтезу з лінійкою випромінювачів на нанотрубках» містить: 41 сторінок, 18 рисунка, 15 використаних джерела.

**Актуальність теми** полягає у додаткових перевагах та потенціалі технології рентгенівських випромінювачів на нанотрубках. Тема є актуальною і має потенціал принести значний внесок у розвиток сучасної медичної діагностики. Звучить цікаво і актуально, особливо у контексті сучасних рентгенівських технологій.

**Мета роботи** – розробка та створення рентгенівського моноблока з лінійкою випромінювачів на нанотрубках для томосинтезу.

**Об'єкт дослідження** є рентгенівський моноблок з лінійкою випромінювачів на нанотрубках для томосинтезу.

**Предмет дослідження** – технічні характеристики моноблока, процес його розробки та виготовлення, а також можливості та обмеження його застосування в медичній діагностиці.

**Мета дипломної роботи** – створення інноваційного рентгенівського моноблока для томосинтезу, який буде забезпечувати високу якість зображень, зменшення дози випромінювання та покращення діагностики м'яких тканин. Опис властивостей та характеристик нанотрубок як основного елемента випромінювачів рентгенівського випромінювання. Визначення оптимальних параметрів рентгенівського моноблока для отримання якісних зображень при томосинтезі. Матеріали даної дипломної роботи можуть бути використані для проведення подальших наукових досліджень, у навчальному процесі, а також з можливістю використання в практичній діяльності.

Ключові слова: РЕНГЕНІВСЬКИЙ МОНОБЛОК, НАНОТРУБКИ, ТОМОСИНТЕЗ, ЛІНІЙКА ВИПРОМІНЮВАЧІВ, ЕЛЕКТРОННІ СХЕМИ.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РМТ - Рентгенівський моноблок для томосинтезу

ЛВ - Лінійка випромінювачів

НТ - Нанотрубки

ВР - Випромінювачі на нанотрубках

МТ - М'які тканини

ЕС - Електронні схеми

ПЗ - Програмне забезпечення

ДХ - Дозові характеристики

ЯЗ - Якість зображень

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ .....	9
1.1. Постановка задачі .....	9
1.2. Історія розвитку рентгенівського зображення та томосинтезу .....	10
1.3. Огляд рентгенівського томосинтезу .....	13
1.4. Принцип роботи томосинтезу з лінійкою випромінювачів .....	14
1.5. Випромінювачі на нанотрубках у рентгенівському моноблоку .....	15
1.6. Класифікація рентгенівських моноблоків .....	16
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ .....	17
2.1. Аналіз існуючих технічних рішень .....	17
2.2. Встановлення вимог до рентгенівського моноблоку .....	18
2.3. Вибір компонентів та матеріалів .....	19
2.4. Оцінка технічних рішень .....	20
2.5. Формулювання технічних вимог до розробки .....	21
РОЗДІЛ 3. РМТ З ЛІНІЙКОЮ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА НАНОТРУБКАХ .....	23
3.1. Рентгенівські діагностичні комплекси .....	23
3.1. Система реалізації томосинтезу .....	26
3.4. Валідація та тестування .....	36
ВИСНОВКИ .....	39
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	40

## ВСТУП

У сучасній медичній діагностиці рентгенівський томосинтез є потужним інструментом для отримання тривимірних зображень внутрішніх органів та структур людського організму. Цей метод дозволяє лікарям отримувати більш деталізовану інформацію про патологічні утворення, виявляти ранні стадії захворювань та підвищувати точність діагностики.

Однак існують певні виклики та обмеження, пов'язані зі сучасними системами рентгенівського томосинтезу. Одним із них є необхідність удосконалення самого випромінювача, який є ключовою складовою частиною системи. Традиційні випромінювачі мають свої обмеження в термінах розширення діапазону детектованої радіації та забезпечення високої якості зображень.

Таким чином, метою даної дипломної роботи є розробка рентгенівського моноблоку для томосинтезу з лінійкою випромінювачів на нанотрубках, який буде володіти покращеними технічними характеристиками і забезпечувати високу якість отримуваних зображень. Зокрема, планується дослідити вплив використання нанотрубок на підвищення роздільної здатності та точності зображень, а також здатність системи відображати м'які тканини з більшою деталізацією.

Об'єктом дослідження є рентгенівський моноблок для томосинтезу з лінійкою випромінювачів на нанотрубках, який включає різноманітні елементи та компоненти, такі як нанотрубки, електронні схеми, програмне забезпечення та інші.

Предметом дослідження є характеристики та ефективність рентгенівського моноблоку з лінійкою випромінювачів на нанотрубках, зокрема, його роздільна здатність, якість зображень, дозові характеристики та можливості застосування в медичній діагностиці.

Дослідження в цій області має велике значення для подальшого розвитку рентгенівського томосинтезу та покращення якості медичної діагностики. Відповідні вдосконалення рентгенівських моноблоків можуть сприяти

підвищенню точності діагностики, ранньому виявленню захворювань та поліпшенню результатів лікування пацієнтів.



# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ

## 1.1. Постановка задачі

Основні задачі даної роботи:

1. Аналіз сучасних рентгенівських систем томосинтезу: Вивчення і оцінка наявних розробок та комерційних систем рентгенівського томосинтезу, аналіз їх технічних характеристик, переваг та обмежень.
2. Дослідження технології нанотрубок: Вивчення властивостей та можливостей використання нанотрубок в якості випромінювачів у рентгенівському моноблоку для томосинтезу. Дослідження методів синтезу нанотрубок, їх структури та фізичних властивостей.
3. Розробка концепції рентгенівського моноблоку: Розробка концепції рентгенівського моноблоку з лінійкою випромінювачів на нанотрубках для томосинтезу, що враховує вимоги до якості зображень, роздільної здатності та дозових характеристик.
4. Моделювання та оптимізація системи: Виконання моделювання та чисельних розрахунків для оцінки ефективності запропонованої системи рентгенівського моноблоку. Оптимізація параметрів системи для досягнення найкращих характеристик зображень та дозових показників.
5. Експериментальне дослідження та оцінка характеристик: Реалізація прототипу рентгенівського моноблоку та проведення експериментального дослідження для оцінки його характеристик. Вимірювання роздільної здатності, дозових показників, шуму тощо.
6. Аналіз результатів та порівняння з існуючими розробками: Вивчення та порівняння отриманих результатів зі схожими системами рентгенівського томосинтезу, оцінка переваг та обмежень запропонованого рентгенівського моноблоку.

7. Формулювання висновків та рекомендацій: Зведення результатів дослідження, формулювання висновків щодо ефективності та перспектив розробленого рентгенівського моноблоку для томосинтезу. Надання рекомендацій щодо його подальшого вдосконалення та використання.

## 1.2. Історія розвитку рентгенівського зображення та томосинтезу

З початку 20-го століття, коли німецький фізик Вільгельм Конрад Рентген відкрив рентгенівські промені. Його відкриття, зроблене в 1895 році, відкрило нові можливості для медицини та діагностики. (див рис.1.1.)

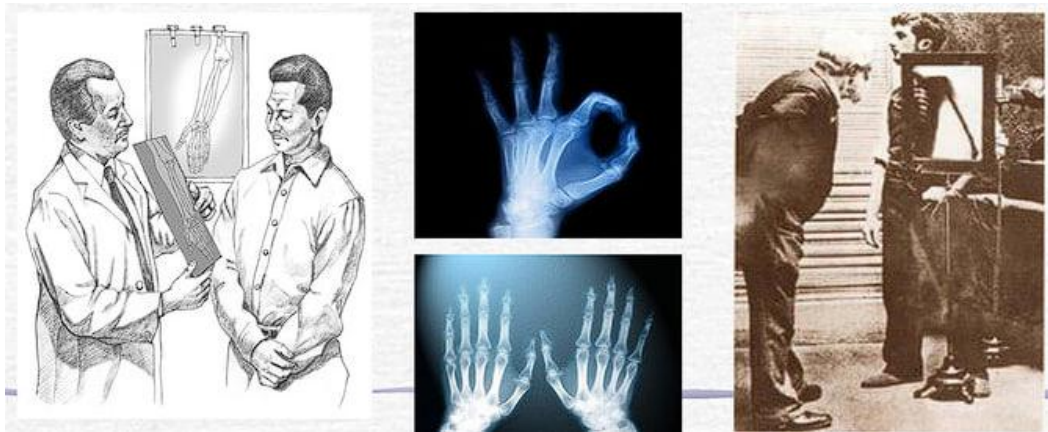


Рис. 1.1. Відкриття Рентгена

З появою рентгенівських променів почали використовувати рентгенографію для отримання двовимірних зображень внутрішньої структури людського тіла. Однак, двовимірні зображення не завжди забезпечували достатню інформацію для точної діагностики, особливо при виявленні складних структур або розташованих поруч органів.

Для подолання цього обмеження було розроблено техніку томографії, яка дозволяє отримувати перерізи тіла пацієнта в різних площинах. Перші томографічні зображення були отримані в 1972 році за допомогою комп'ютерного томографа. Цей метод здобув широку популярність та став невід'ємною складовою сучасної медичної діагностики.

Згодом з'явилися розвитки, спрямовані на поліпшення якості та точності томографічних зображень. Одним з таких розвитків став рентгенівський

томосинтез, який поєднує переваги традиційної рентгенографії з можливістю отримання тривимірних зображень.

Томосинтез використовує принцип збирання даних з різних кутів, шляхом руху джерела променів навколо об'єкта. Це дозволяє отримати серію проєкцій, які потім обробляються для отримання тривимірного зображення. Такий підхід дозволяє виділити деталі та структури, які можуть бути незримі на двовимірних зображеннях.

У контексті дипломної роботи про "РМТ з лінійкою випромінювачів на нанотрубках" історія стосується розвитку рентгеновської технології, включаючи використання нанотрубок як випромінювачів. НТ є одним зі способів досягнення високої роздільної здатності та ефективності випромінювачів у рентгенівській технології.

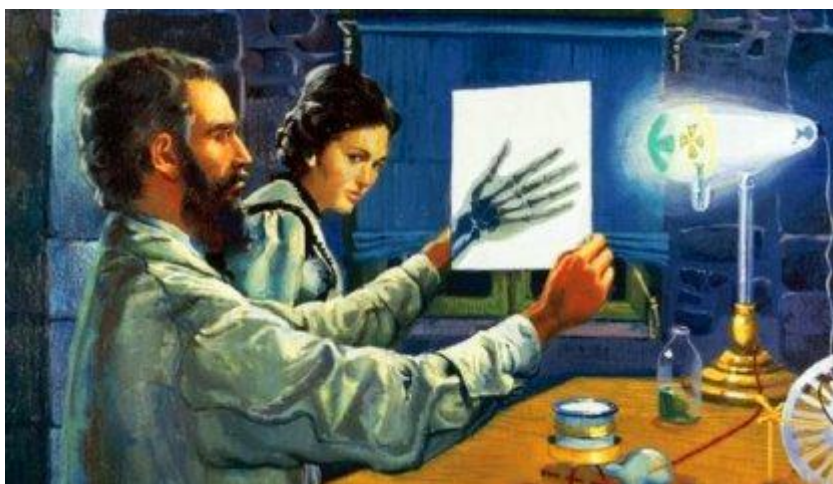


Рис. 1.2. Рентген

На початку ХХ століття були розроблені математичні розрахунки комп'ютерної томографії, однак застосування їх в медичній практиці стало можливим тільки в другій половині ХХ століття. Вперше можливість використання методів реконструкції тривимірної структури об'єкта з безлічі його проєкцій у медицині були запропоновані фізиком-математиком з ПАР Аланом Мак Кормаком. Перебуваючи в Кейптаунській лікарні Хорті Схюр, він був здивований недосконалістю технології дослідження головного мозку. Він справив математичні розрахунки проходження вузькоспрямованого пучка рентгенівських променів через речовину мозку та в 1963 році

опублікував статтю про можливість реконструкції зображення головного мозку. Через 7 років ці матеріали вивчила група інженерів англійської фірми електромусичних інструментів EMI на чолі з Годфрі Хаунсфілдом і зайнялася створенням першого експериментального комп'ютерного томографа для дослідження головного мозку.

Сканування першого об'єкта - анатомічного препарату головного мозку, дозволило отримати зображення його структур, а часу було витрачено 9 годин. У 1972 р. була проведена перша комп'ютерна томографія. Першим дослідженим пацієнтом стала жінка, а на першій комп'ютерній томограмі було отримано зображення пухлинного ураження головного мозку.

У тому ж році, 19 квітня, на конгресі Британського радіологічного інституту Годфрі Хаунсфілд і лікар Дж. Амброус виступили з сенсаційним повідомленням: рентгенологія проникає в мозок.

Перші комп'ютерні томографи почали випускати у 1973 році, апарати активно удосконалювалися. У 80-90-их роках ХХ століття дослідження головного мозку на більш нових томографах тривало вже не 9 годин, а кілька хвилин. З бурхливим розвитком комп'ютерної томографії з'явилася можливість дослідження не тільки головного мозку, а будь-якої частини тіла, а на початку ХХІ століття сканування однієї області тіла займало вже кілька секунд. У сучасних комп'ютерних томографів росла роздільна здатність, значно знижувалося променеве навантаження на пацієнта.



Мал.41. Алан Кормак



Годфри Хаунсфилд

Рис. 1.3. Алан Кормак та Годфрі Хаунсфілд  
У 1979 році за розробку методу рентгенівської комп'ютерної томографії фізику-математику Алану Мак Кормаку та інженеру Годфрі Хаунсфілду була присуджена Нобелівська премія у галузі медицини.

### **1.3. Огляд рентгенівського томосинтезу**

Рентгенівський томосинтез (або рентгенівська комп'ютерна томографія) є сучасним методом обробки медичних зображень, який дозволяє отримувати тривимірні зображення внутрішніх структур організму з високою деталізацією. Цей метод поєднує в собі технологію рентгенівської зйомки та комп'ютерної реконструкції.

Основний принцип роботи рентгенівського томосинтезу полягає у використанні рентгенівського променя, який проникає через об'єкт (наприклад, тіло пацієнта). Детектор реєструє промінь, який пройшов через об'єкт, і отримується велика кількість проекційних зображень. За допомогою комп'ютерних алгоритмів реконструкції, ці проекційні дані обробляються і перетворюються у тривимірне зображення.

Основні переваги рентгенівського томосинтезу:

1. Тривимірне зображення: Рентгенівський томосинтез дозволяє отримати тривимірне зображення внутрішніх структур організму, що дає більш повну інформацію для діагностики та планування лікування.
2. Висока деталізація: Завдяки високій роздільній здатності, рентгенівський томосинтез забезпечує детальне зображення тканин та структур, що допомагає виявляти навіть найдрібніші патологічні зміни.
3. Мінімальна інвазивність: В порівнянні з іншими методами, рентгенівський томосинтез є менш інвазивним, оскільки не потребує хірургічного втручання або введення спеціальних речовин.

4. Досить швидка процедура: Отримання тривимірного зображення зазвичай займає декілька секунд, що дозволяє швидко отримати результати та провести подальший аналіз.

Рентгенівський томосинтез широко використовується в медицині для діагностики та контролю за різними захворюваннями, включаючи пухлини, захворювання серця та легень, судинні хвороби, травми та інші патології. Цей метод дозволяє лікарям отримувати більш об'єктивну інформацію про стан пацієнта та приймати здійснювати точну діагностику і лікування.

#### **1.4. Принцип роботи томосинтезу з лінійкою випромінювачів**

Принцип роботи томосинтезу з лінійкою випромінювачів базується на послідовному зчитуванні рентгенівських зображень об'єкта під різними кутами. ЛВ складається з ряду рентгенівських детекторів, розташованих в лінійку. Під час зйомки, ЛВ рухається навколо об'єкта, одночасно реєструючи рентгенівські промені, що проходять через об'єкт.

Кожен детектор в лінійці реєструє інтенсивність проходження рентгенівського променя через відповідну точку об'єкта. Після завершення обертання лінійки, отримується набір проекційних зображень об'єкта з різних кутів. Ці проекційні зображення використовуються для формування тривимірного об'ємного зображення об'єкта шляхом математичної реконструкції.

Після реконструкції отримується тривимірне зображення об'єкта, що дозволяє лікарям аналізувати його структуру в тривимірному просторі. Таке зображення забезпечує більш докладну інформацію про структуру об'єкта порівняно з традиційними двовимірними рентгенівськими зображеннями.

Принцип роботи томосинтезу з лінійкою випромінювачів полягає в послідовному отриманні проекційних зображень об'єкта з різних кутів за допомогою рухомої лінійки випромінювачів і подальшій реконструкції тривимірного зображення об'єкта.

### **1.5. Випромінювачі на нанотрубках у рентгенівському моноблоку**

ВР в рентгенівському моноблоку є важливим компонентом, який відповідає за генерацію рентгенівського випромінювання. НТ використовуються як електронні джерела випромінювання замість традиційних рентгенівських випромінювачів, таких як вакуумні ксенонові лампи.

Принцип роботи випромінювачів на нанотрубках базується на явищі електронної емісії. У нанотрубках, електроди розташовані на декількох мікрометрових відстанях один від одного, створюючи лінійку випромінювачів. Застосування електричної напруги до цих електродів призводить до емісії електронів з нанотрубок.

Емітовані електрони прискорюються електричним полем і впливають на анод, створюючи рентгенівське випромінювання. Це випромінювання має високу енергію і може проходити через об'єкт, що досліджується. За допомогою детекторів, отримується інформація про пройдене випромінювання, яка потім використовується для реконструкції томосинтезових зображень.

ВР мають кілька переваг у порівнянні з традиційними випромінювачами. Вони мають високу швидкість відгуку, забезпечують високу якість зображення з високою роздільною здатністю, і можуть працювати при низьких дозах випромінювання. Крім того, вони є більш компактними, мають довгу відмовостійкість і меншу витрату енергії. Всі ці переваги роблять ВР привабливими для застосування в рентгенівському моноблоку для томосинтезу.

Використання випромінювачів на нанотрубках у рентгенівському моноблоку дозволяє покращити якість отриманих рентгенівських зображень, знизити дозу випромінювання для пацієнта та забезпечити більш ефективну та швидку роботу пристрою.

## **1.6. Класифікація рентгенівських моноблоків**

Рентгенівські моноблоки можна класифікувати за різними ознаками. Одна з можливих класифікацій базується на принципі роботи та застосуванні моноблоків. Основні класи рентгенівських моноблоків включають:

1. Медичні моноблоки: Ці моноблоки призначені для застосування в медичній діагностиці. Вони використовуються для отримання рентгенівських зображень для медичних досліджень, діагностики та моніторингу стану пацієнтів.
2. Наукові моноблоки: Ці моноблоки використовуються в дослідницьких лабораторіях та установах для наукових досліджень і експериментів. Вони можуть включати розширені функції та можливості для проведення спеціалізованих досліджень та випробувань.
3. Промислові моноблоки: Ці моноблоки використовуються в промислових застосуваннях, таких як неруйнівний контроль, якість продукції, безпека та інші. Вони дозволяють отримувати рентгенівські зображення для перевірки та оцінки різних матеріалів і конструкцій.
4. Ветеринарні моноблоки: Ці моноблоки призначені для ветеринарної медицини і використовуються для діагностики і досліджень у тваринництві та ветеринарній практиці.

Класифікація рентгенівських моноблоків може також базуватися на їх характеристиках, функціях, типах детекторів, використовуваних технологіях та багатьох інших факторах. Вибір конкретного класу моноблоку залежить від конкретних потреб і застосувань, для яких він призначений.



## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

### 2.1. Аналіз існуючих технічних рішень

Аналіз існуючих технічних рішень в області рентгенівського томосинтезу (РМТ) дозволяє оцінити та порівняти різні методики та системи, що використовуються для отримання томосинтезових зображень. Основні критерії для аналізу існуючих технічних рішень РМТ включають наступні аспекти:

1. Принцип роботи: Аналіз різних методів формування томосинтезових зображень, таких як прямий зчитування або координатно-випромінювальна геометрія. Визначення переваг і недоліків кожного методу.
2. Конструкція пристрою: Огляд різних типів пристроїв та їхніх компонентів, включаючи рентгенівські випромінювачі, детектори, системи переміщення та реєстрації даних. Порівняння різних конструкцій за їхньою ергономікою, стабільністю та можливістю масштабування.
3. Якість зображення: Оцінка якості томосинтезових зображень, включаючи роздільну здатність, контрастність, шум та артефакти. Порівняння різних систем за їхніми можливостями забезпечення високоякісних зображень.
4. Дозове навантаження: Аналіз рівня дози опромінення (див рис.2.1), яку отримує пацієнт під час процедури РМТ. Порівняння різних систем за їхньою дозовою ефективністю та способами оптимізації дози.
5. Клінічні застосування: Вивчення різних областей медицини, в яких використовується РМТ, таких як радіологія, онкологія, стоматологія тощо. Оцінка ефективності РМТ в різних клінічних сценаріях та порівняння з іншими імагінговими технологіями.

6. Вартість та доступність: Аналіз вартості та економічної доцільності різних систем РМТ. Врахування витрат на обладнання, утримання, обслуговування та навчання персоналу.



Рис. 2.1. Опромінення

Аналіз існуючих технічних рішень РМТ дозволяє виявити їхні переваги, недоліки та потенційні напрямки вдосконалення. Це сприяє розробці нових інноваційних систем та поліпшенню якості діагностики та лікування захворювань.

## **2.2. Встановлення вимог до рентгенівського моноблоку**

Встановлення вимог до рентгенівського моноблоку включає процес визначення основних параметрів та характеристик, які повинні бути відповідні вимогам технічних та клінічних специфікацій. Основна мета встановлення вимог полягає у забезпеченні оптимального функціоналу та якості роботи моноблоку з урахуванням конкретних потреб та вимог користувачів.

1. Процес встановлення вимог може включати наступні кроки:
2. Визначення основних завдань та функцій, які моноблок повинен виконувати. Наприклад, це можуть бути вимоги щодо отримання високоякісних томосинтезових зображень, можливості варіювання дози опромінення, швидкості сканування та інші.
3. Визначення технічних характеристик, таких як роздільна здатність, контрастність, швидкість зчитування, енергетичний діапазон та інші. Ці характеристики повинні бути узгоджені зі специфікаціями імплантованого обладнання та відповідати клінічним потребам.

4. Встановлення вимог до дозового навантаження, забезпечення безпеки та дотримання відповідних норм та стандартів безпеки радіації.
5. Вимоги до ергономіки та зручності використання, включаючи розмір та вагу пристрою, інтерфейс користувача, можливість налаштування параметрів та інші.
6. Клінічні вимоги, що стосуються конкретних застосувань томосинтезу. Наприклад, це можуть бути вимоги щодо діагностики раку грудей, виявлення пухлин у суглобах або візуалізації структур мозку.

Вимоги до довговічності, надійності та технічної підтримки моноблоку, включаючи гарантійний термін, доступність запасних частин та сервісне обслуговування.

Встановлення вимог до рентгенівського моноблоку є важливим етапом у розробці технічного проекту та дозволяє забезпечити відповідність пристрою потребам та очікуванням користувачів.

### **2.3. Вибір компонентів та матеріалів**

Вибір компонентів та матеріалів для рентгенівського моноблоку є важливою частиною його розробки. Для досягнення оптимальної роботи та виконання вимог, необхідно враховувати різні фактори, такі як технічні характеристики, функціональність, довговічність, ергономіка, безпека та вартість.

При виборі компонентів, таких як детектори, випромінювачі, електроніка та інші, важливо враховувати їхню сумісність з іншими системними компонентами, відповідність вимогам щодо чутливості, роздільної здатності та швидкості реагування. Крім того, необхідно враховувати можливість постачання компонентів, їхню доступність та вартість.

У випадку вибору матеріалів для корпусу, конструкції та інших складових частин моноблоку, важливо враховувати їхню міцність, стійкість

до корозії, електричну та теплову провідність, а також можливість їхньої обробки та виготовлення відповідно до потреб проекту.

При виборі компонентів та матеріалів також можна враховувати попередні досвід та успіхи у подібних проектах, рекомендації від постачальників та експертів у галузі медичної технології.

Загальний підхід до вибору компонентів та матеріалів полягає в уважному аналізі вимог, дослідженні наявних рішень на ринку, проведенні експериментів та тестуванні різних варіантів для забезпечення оптимального вибору. Крім того, важливо забезпечити відповідність вибраних компонентів та матеріалів медичним стандартам та нормативним вимогам, що регулюються відповідними органами.

#### **2.4. Оцінка технічних рішень**

Оцінка технічних рішень є етапом розробки рентгенівського моноблоку. Цей процес передбачає аналіз та порівняння різних варіантів технічних рішень з метою вибору оптимального варіанту для досягнення поставлених цілей.

Під час оцінки технічних рішень слід враховувати такі критерії:

1. **Функціональність:** Перевірте, чи задовольняє обране технічне рішення всі необхідні функціональні вимоги і специфікації.
2. **Ефективність:** Оцініть, наскільки ефективно обране рішення виконує свої функції в порівнянні з іншими варіантами. Розгляньте його продуктивність, швидкодію, енергоефективність та інші параметри.
3. **Надійність:** Визначте, наскільки надійне є обране рішення. Розгляньте його стійкість до впливу зовнішніх факторів, можливість виявлення та виправлення помилок, тривалість безвідмовної роботи та інші аспекти, які впливають на надійність.

4. Сумісність: Переконайтеся, що обране рішення сумісне з іншими компонентами системи та засобами зв'язку. Врахуйте стандарти та протоколи, які повинні бути підтримані.
5. Вартість: Проаналізуйте вартість реалізації обраного рішення, включаючи витрати на придбання, встановлення, обслуговування та експлуатацію. Порівняйте ці витрати зі значенням, яке ви отримаєте від обраного рішення.
6. Інноваційність: Розгляньте, наскільки обране технічне рішення є інноваційним та внесе внесок у розвиток галузі. Оцініть його потенціал для покращення якості діагностики та лікування.

На основі оцінки різних технічних рішень можна зробити обґрунтований вибір оптимального варіанту для подальшої реалізації та розвитку рентгенівського моноблоку.

## **2.5. Формулювання технічних вимог до розробки**

Технічні вимоги до розробки рентгенівського моноблоку для томосинтезу можуть включати:

### **1. Функціональні вимоги:**

Забезпечує можливість отримати томосинтезових зображень з високою роздільною здатністю та якістю. Надає можливість контролювати параметри випромінювання, такі як потужність, час випромінювання, енергія рентгенівського променя та регулювати геометрію лінійки випромінювачів для отримання різних ракурсів зображень. Також є підтримка автоматичного керування процесом томосинтезу, включаючи автоматичну підготовку, експозицію та реконструкцію зображень. Інтеграція з існуючими системами медичної діагностики та обробки зображень.

### **2. Вимоги до якості та роздільної здатності:**

Висока роздільна здатність для чіткого відображення деталей та структур. Мінімальний рівень шуму на отриманих зображеннях та спотворення зображень та артефакти.

### 3. Вимоги до безпеки:

Забезпечення безпечного використання рентгенівського випромінювання для операторів та пацієнтів. Відповідність вимогам щодо радіаційного захисту та безпеки даних.

### 4. Вимоги до ергономіки та зручності використання:

Зручне та інтуїтивно зрозуміле інтерфейс користувача. Мінімальний час налаштування та підготовки до проведення томосинтезу. Ефективне керування параметрами випромінювання та реконструкції зображень.

### 5. Вимоги до надійності та технічної підтримки:

Висока надійність роботи моноблоку та довгий термін служби. Наявність технічної підтримки, сервісних послуг та оновлення програмного забезпечення.

### 6. Вимоги до економічності:

Конкурентоспроможна ціна моноблоку та оптимальні витрати на експлуатацію. Енергоефективність та економія ресурсів.

Ці вимоги можуть бути додатково специфіковані відповідно до конкретних потреб та вимог клієнта, медичних стандартів та регуляторних вимог.

## РОЗДІЛ 3. РМТ З ЛІНІЙКОЮ ВИПРОМІНЮВАЧІВ НА НАНОТРУБКАХ

### 3.1. Рентгенівські діагностичні комплекси

Останні кілька років все більшої популярності набирають рентгенівські діагностичні комплекси на три робочих місця, які дозволяють, крім рентгенографії і рентгеноскопії, проводити цифрову лінійну томографію пошарову візуалізацію певної анатомічної області.

КРД "INDIascop" (див на рис. 3.1) на три робочих місця з технологією томосинтезу, вироблені заводом рентгенівського обладнання «Квант», протягом року успішно експлуатуються в лікувальних установах м. Києва та м. Харкова.

Сучасна конструкція КРД "INDIascop" дозволяє виконати серію низькодозових експозицій, під час якої рентгенівська трубка рухається щодо досліджуваного об'єкта по дузі, а приймаючий пристрій змінює своє положення в протилежному напрямку. Завдяки даній технології можливо проводити оцінку щільності кісткових структур, більш ефективно виявити порожнинні освіти довгих трубчастих кісток, а також діагностувати новоутворення в легенях, які при звичайному обстеженні можуть бути приховані кістковою тканиною і залишитися непоміченими.



Рис. 3.1. КРД "INDIascop"

Цифровий лінійний рентгенівський томосинтез - це новий, прогресивний, малодозовий метод отримання 3D зображень на основі традиційного цифрового рентгенівського обладнання

Томосинтез - це апаратно-програмний метод, який дозволяє отримати 3D зображення без використання комп'ютерного томографу та у 60-80 % випадках може замінити КТ

У порівнянні з комп'ютерною томографією томосинтез надає тривимірну інформацію при більш низькому дозовому навантаженні і більш низькій вартості обслуговування для більшості клінічних застосувань у положеннях стоячи, сидячи та лежачи.

Клінічні застосування:

1. Обстеження органів грудної порожнини
2. Обстеження опорно-рухового апарату
3. Обстеження голови і шиї



Рис. 3.2. Комп'ютерна томографія

При томосинтезі довгих трубчастих кісток значно ефективніше виявляються порожнинні утворення, можливим стає виявлення переломів у локалізаціях, які будуть недоступні для класичної рентгенографії.





Рис. 3.3. Черезвиростковий перелом лівої плечевої кістки

Томосинтез дозволяє візуалізувати стан внутрішньокісткового каналу довгих трубчастих кісток, стан кортикального та компактного шарів довгих трубчастих кісток, місця прикріплення капсули та екстра-артикулярних зв'язок в області суглобів. При порушенні цілісності кістки томосинтез дозволяє візуалізувати розвиток кісткової мозолі в зоні пошкодження незалежно від виду фіксації пошкодженої кінцівки (гіпсова пов'язка, лангета, і т.д.). На одержуваних зображеннях чітко візуалізується форма, розмір і стан кортикального шару хребців; форма, розмір і деструктивні зміни в суглобах інформативні як при дегенеративних, так і при системних ураженнях.



Рис. 3.4. Остеогенна саркома. МРТ протипоказана. КТ не показова зважаючи на наявність артефактів.

Томосинтез дозволяє поліпшити якість діагностики при обстеженні ОГП. Він дає можливість рентгенологам візуалізувати дрібні легеневі вузлики, хронічні кістозно-фіброзні зміни в легенях, аномалії розвитку легень, провести диференціальну діагностику між специфічними і неспецифічними змінами в легенях.



Рис. 3.5. Первинний туберкульозний комплекс у фазі кальцинації

### 3.1. Система реалізації томосинтезу

Реалізація томосинтезу на системі EqueTom включає кілька етапів і процесів. Основний принцип роботи полягає в зборі рентгенівських зображень об'єкта з різних кутів і на їх основі побудові тривимірного образу.



Рис. 3.6. EqueTom

Система EqueTom – це базова цифрова рентгенографічна система з режимом томосинтезу, націлена на ринок коневодства (перша у світі діагностична мобільна рентгенівська установка для дослідження коней за допомогою цифрового методу томосинтезу). складається з:

1. Гентрі ЕТ:

Взаємодію основних компонентів гентрі ЕТ наведено на рисунку 3.7.

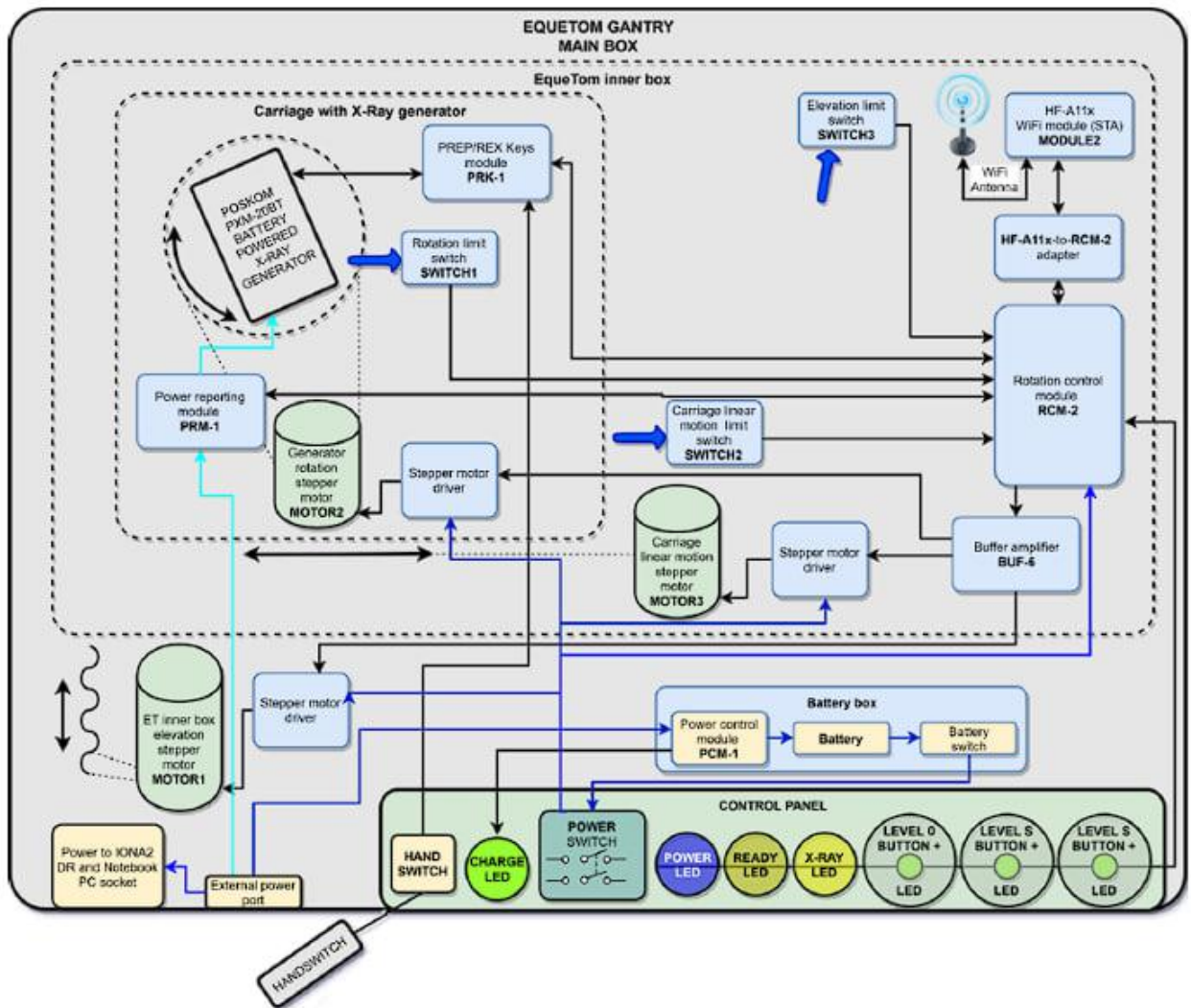


Рис. 3.7. Взаємодія основних компонентів гентрі ЕТ.

Внутрішня каретка вертикального руху (Рис. 3.7, а) ЕТ піднята за допомогою чотирьох валів з трапецеїдальною різьбою (ШВП), які синхронно (за допомогою шківів та ременів) приводиться в рух кроковим двигуном підйому MOTOR1. 54 Всередині каретки вертикального руху, на прецензійних направляючих та підшипниках лінійного руху встановлена

каретка горизонтального руху (Рис. 3.8, б), яка рухається вліво та вправо кроковим двигуном MOTOR3.

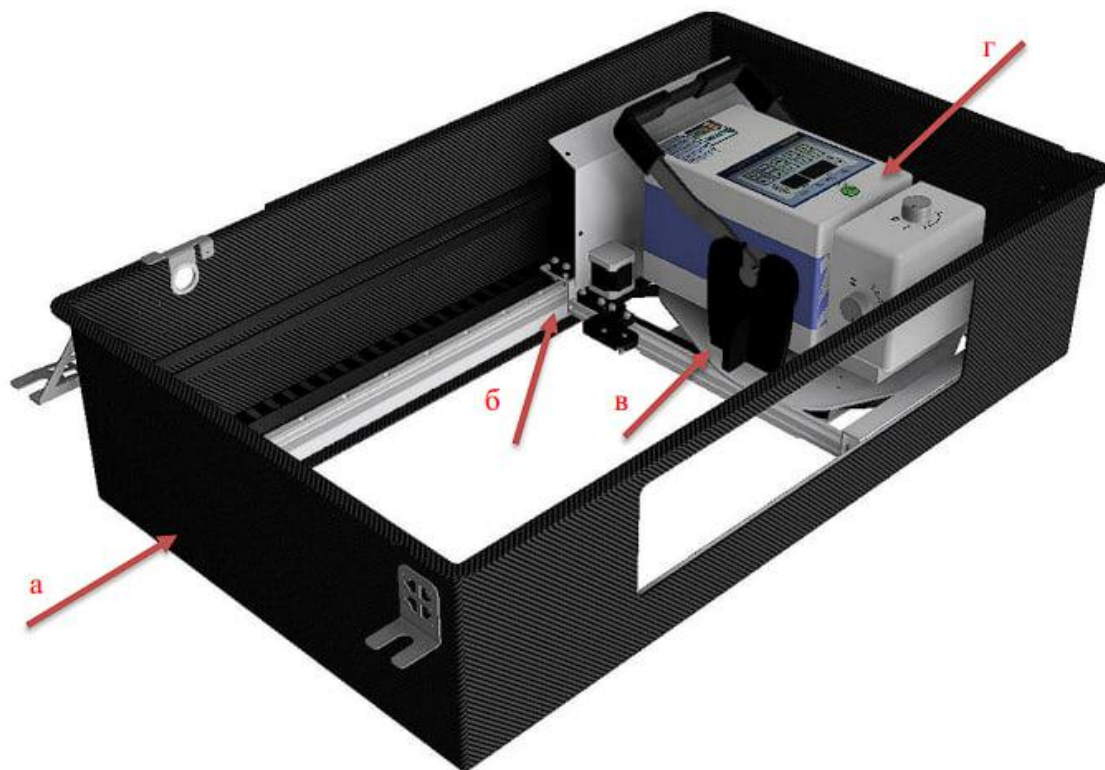


Рис. 3.8. Каретки вертикального руху (а) та горизонтального руху (б), поворотний кронштейн генератора (в), рентгенівський генератор (г).

В свою чергу всередині каретки горизонтального руху знаходиться рухомий кронштейн рентгенівського генератора (Рис. 3.7, в), який обертається кроковим двигуном MOTOR2. Модуль управління обертанням RCM-2 – це материнська плата EquTom. Мікроконтролер (STM32F051C6T6) керує всіма рухами (крокових двигунів), індикацією роботи та комунікацією між ПК (через спеціалізоване програмне а б в в г 55 забезпечення), гентрі ЕТ, рентгенівським випромінювачем та рентгенівським цифровим приймачем. Модуль PRM-1 використовується для контролю заряду рентгенівського генератора. Модуль РСМ-1 використовується для контролю заряду гентрі ЕТ. Модуль PRK-1 використовується для перевірки стану генератора: увімкнено чи вимкнено генератор, чи підключений до генератора кабель ручного перемикача, і періодично надсилає генератору сигнали пробудження, щоб він не переходив до режиму сну.

## 2. Гібридний портативний рентгенівський випромінювач Poskom РХМ-20 ВТ:

- Тип генератора: ВЧ-генераторний мікропроцесорний контролер із живленням від батареї.
  - Вихід інвертора: 1,6 кВт. 20 мА при 40-80 кВ; 15 мА при 81-90 кВ; 12 мА при 91-100 кВ.
  - Діапазон напруги: 40-100 кВ, крок 1 кВ.
  - Діапазон струму: від 12 до 20 мА, змінний.
  - Діапазон експозиції: 4-50 мАс, 32 фіксовані значення.
  - Рентгенівська трубка: фіксований тип анода, фокусний розмір: 1,2 мм, теплоємність анода: 20 кНУ
  - Консоль та дисплей: світлодіодний дисплей «kV & mAs; Ready & Exp», світлодіодний індикатор, коліматор і лазерна мітка.
  - Програмне забезпечення контролера: пам'ять PROM, програма дистанційного керування, програмований лазерний промінь і лампа коліматора, РК-індикатор зарядного пристрою, режим очікування та димер.
  - Лазерний ручний коліматор 4 леза, програмований 10 сек. таймер
  - Інтегрований радіочастотний бездротовий модуль спрощує зв'язок для синхронізації рентгенівського опромінення. 56
  - Характеристики акумулятора: акумуляторна батарея літій-іонного типу, ємність: 1600 мАс, зарядний пристрій: 29,4 В, 1,5 А, час зарядки: 3,5 год.
- Рентгенівський випромінювач (Рис. 3.9) встановлюється та фіксується в каретці всередині гентрі ЕТ.



Рис. 3.9. Рентгенівський генератор Poskom PXM-20 BT (зліва) та цифровий рентгенівський приймач Iona2-RF-2430 (справа).

### 3. Цифровий рентгенівський приймач Iona2-RF-2430:

Тип приймача – Матриця фотодіодних датчиків з оптичним зв'язком (PSA).

– Кількість сенсорів – 120.

– Поле прийому – 220x290 мм.

– Тип перетворюючого екрану – полікристалічний йодид цезію (CsI). –

Розрядність АЦП – 16 біт.

– Вихідні зображення – 1180x1470 пікселів, 16 біт.

– Первинна обробка зображень – корекція геометричних спотворень та корекція неоднорідності сенсорів (програмне калібрування із застосуванням тестових об'єктів – оригінальна запатентована технологія).

– Максимальна роздільна здатність в режимі рентгенографії – 5 п.л./мм.

57

– Максимальна роздільна здатність в режимі рентгеноскопії – 3,1 п.л./мм при частоті кадрів 7,5 кадрів/с та 1,7 п.л./мм при частоті кадрів 30 кадрів/с.

– Мережеві інтерфейси – бездротовий IEEE 802.11n WiFi та Gigabit Ethernet

– Вбудоване автоматичне виявлення експозиції.

– Матеріал корпусу – вуглецеве волокно, пластик.

- Живлення – акумуляторна батарея літій-іонного типу.
- Зарядний пристрій – 18 В, 2,8 А.

Рентгенівський приймач IONA2-RF-2430 (Рис. 3.4., справа) працює від акумулятора, оснащений двома мережевими інтерфейсами – дротовим гігабітним Ethernet (GbE) та бездротовим інтерфейсом IEEE 802.11n WiFi. Гігабітний Ethernet використовується для високошвидкісної передачі даних і команд між комп'ютером і приймачем, а WiFi використовується для зв'язку з центром EqueTom

#### 4. РАМ рентген-лаборанта:

Являє собою спеціально розроблену систему обробки і архівації зображень (аналог PACS – Picture Archiving and Communication System), яка виконує наступні функції:

- реєстрацію інформації, що надходить від приймача, з можливістю налаштування параметрів автоматичної пост-обробки;
- функцію «позитив-негатив»;
- організацію віконного режиму;
- масштабування, обертання і дзеркальне відображення зображень;
- фрагментарне збільшення і контрастування зображень;
- вимірювання відстаней, кутів і площ;
- імпорт і експорт зображень у форматі DICOM;
- виведення зображень на дисплей;
- відображення на знімку параметрів експозиції (кВ, мАс, DAP), що надходять від рентгенівського генератора;
- друк зображень на DICOM принтері.

Автоматизоване робоче місце рентгенолога включає спеціальне програмне забезпечення для перегляду, обробки, друку та передачі зображень в DICOM-стандарті, а також медичний висококонтрастний монітор для перегляду знімків. Спеціальне програмне забезпечення, зокрема,

забезпечує автоматичну пост обробку зображень за критерієм максимальної візуальної спостережливості патологій з метою полегшення діагностики .

Коли рентгенолог розпочинає процедуру отримання рентгенівських знімків (Рис. 3.10), програмне забезпечення надсилає відповідні команди (кут сканування, швидкість руху генератора, затримка випромінювання рентгенівських променів тощо) через GbE на підключений цифровий приймач IONA2-RF-2430.

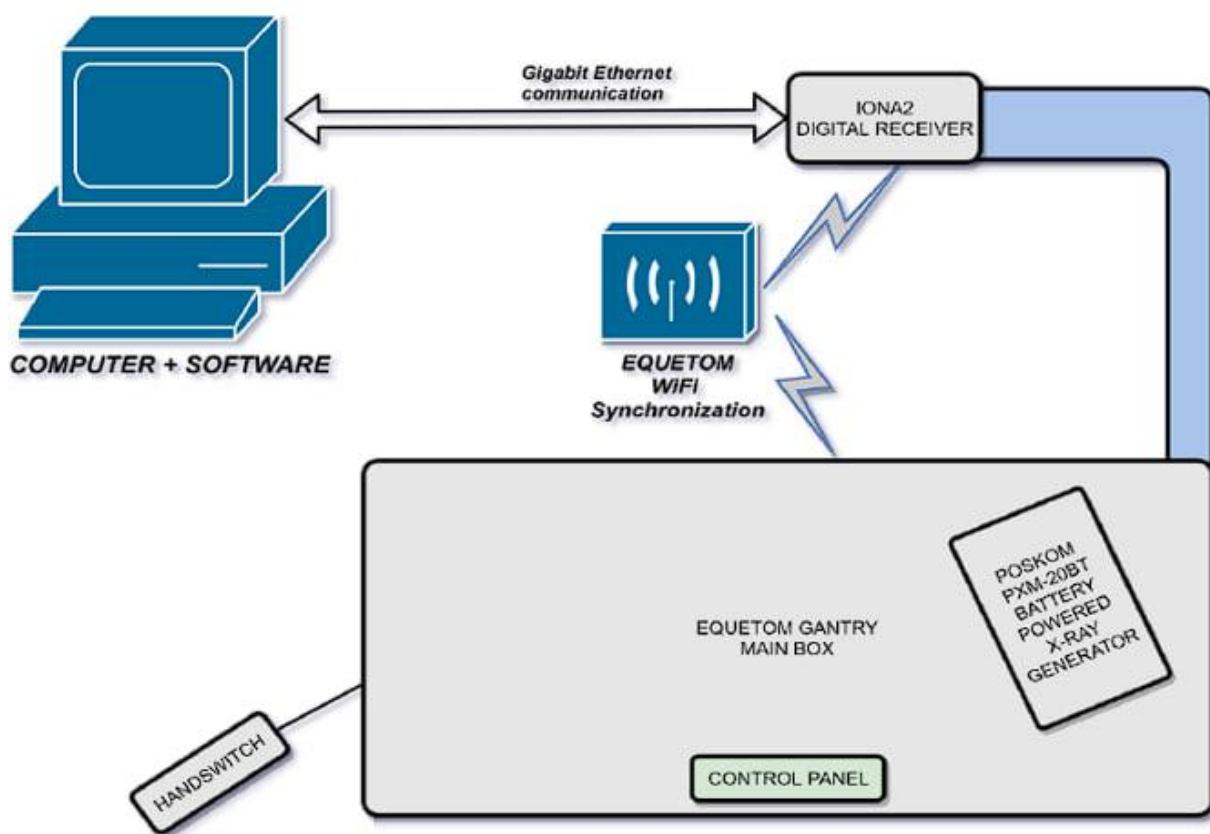


Рис. 3.10. Схема взаємодії компонентів EqueTom та ПК

Приймач, у свою чергу, передає команди з ПК на гентрі EqueTom через вбудовані модулі WiFi HF-A11x, отримує відповіді на команди та повторно переводить їх на ПК через GbE.

Гентрі ET після отримання команди збору від приймача готує та інформує оператора оранжевим світлодіодом «Ready» на панелі управління.

Після того, як рентгенолог повністю натискає двоступеневу кнопку ручного керування, гентрі ET виконує швидке самокалібрування та негайно виконує сканування.



Під час процедури сканування рентгенівська трубка рухається всередині корпусу ЕТ протягом часу 2,5 ... 3,2 с, а цифровий рентгенівський приймач генерує 85 ... 120 рентгенівських проєкцій, отриманих під різними кутами –  $\pm 17.4^\circ$  (Рис. 3.11).

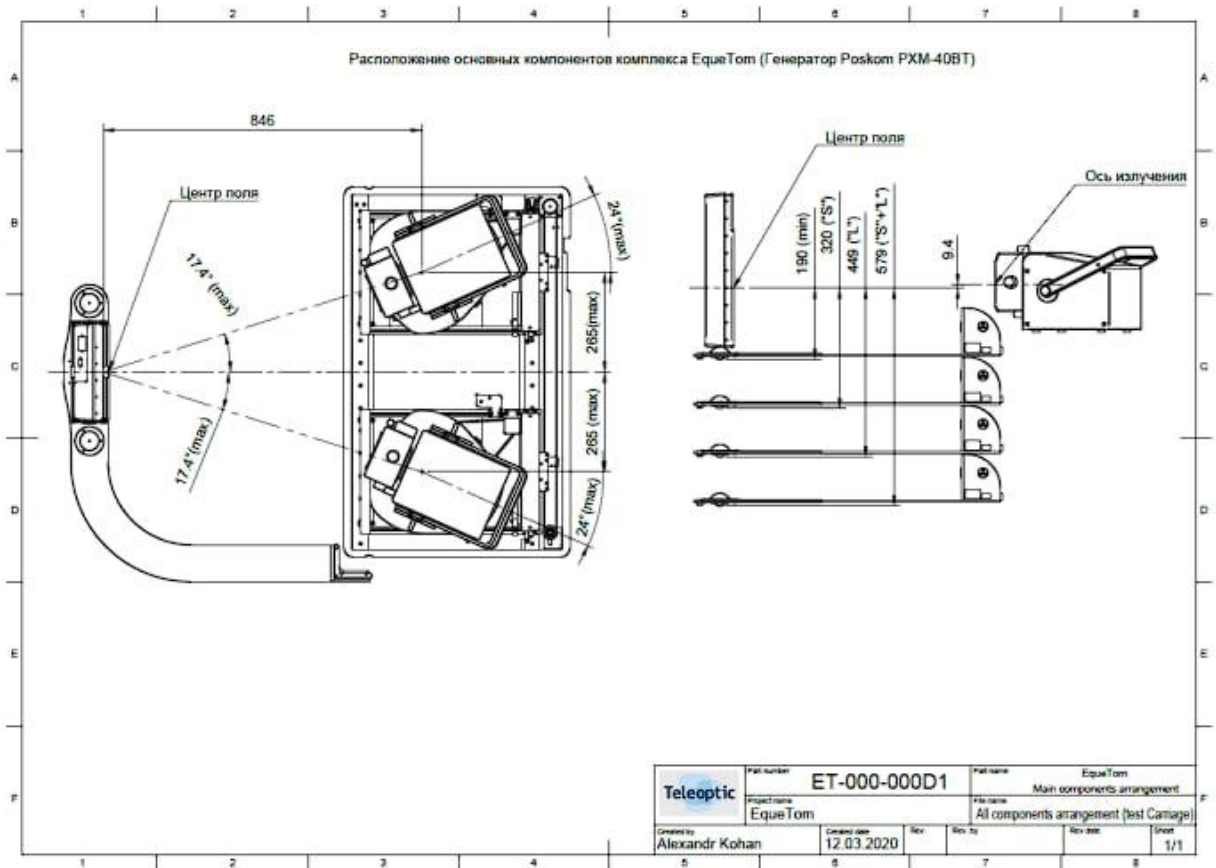


Рис. 3.11. Взаємне розміщення основних компонентів комплексу ЕТ.

Для отримання рентгенографічних зображень в першу чергу потрібно підготувати все необхідне для виконання дослідження:

1. перевірити рівні заряду (за необхідності під'єднати зарядні пристрої) гентрі ЕТ та рентгенівських приймача і випромінювача;
2. встановити на гентрі знімну штангу, кронштейн приймача, приймач, встановити рентгенівський випромінювач в рухому каретку;
3. підготувати рентгенівську міру (Рис. 3.12);



Рис. 3.12. Рентгенівська міра, закріплена на фільтрі (лист алюмінію Al товщиною 4 мм), та встановлена перед входним вікном приймача.

4. з'єднати приймач з ПК кабелем Ethernet;
5. під'єднати до рентгенівського випромінювача двоступеневу кнопку ручного керування та виконати процедуру прогріву трубки (виконати 15 експозицій в різних режимах з інтервалом в 15 секунд між ними: I режим – 5 експозицій при 50 кВ і 1 мАс; II режим – 5 експозицій при 70 кВ і 2 мАс; III режим – 5 експозицій при 80 кВ і 2,5 мАс), після якої налаштувати випромінювач на режим експозиції в 81 кВ 50 мАс (Рис. 3.13), та під'єднати його до гентрі ЕТ кабелем RJ-25.



Рис. 3.12. Рентгенівський випромінювач налаштований на різні параметри експозиції (зліва – режим прогріву 50 кВ 1 мАс; справа – робочий режим 81 кВ 50 мАс).

Після завершення підготовки можна перейти до сканування:

1. ввімкнути рентгенівський приймач (повинен засвітитися синій світлодіод);
2. ввімкнути гентрі ET (повинен засвітитися синій світлодіод «Power» на панелі керування);
3. запустити на ПК програмне забезпечення AceClubs та дочекатися завантаження бази даних і автоматичного запуску програмного забезпечення AlphaPlus, дочекатися синхронізації між програмним забезпеченням, приймачем і гентрі ET;
4. створити запис пацієнта та запис сеансу в програмі AceClubs (можна відразу створити 4 записи обстеження – 1 сканування без відхилень та 3 сканування зі зміщеннями приймача в різних площинах);
5. обрати створений сеанс обстеження та натиснути кнопку «ACQUIRE» та після появи діалогового вікна «Tomo acquisition» затиснути на 1-2 секунди перший ступінь двоступеневої кнопки ручного керування, потім затиснути другий ступінь та тримати до закінчення (10-15 секунд) процедури отримання рентгенівських знімків – система EqueTom почне виконувати серію знімків, під час цього гентрі буде рухатись (каретка горизонтального переміщення та поворотний кронштейн разом з випромінювачем), рентгенівський випромінювач сповіщатиме звуковим сигналом про експозицію;
6. після закінчення звукового сигналу відпустити кнопку ручного керування, дочекатися передачі отриманих знімків з приймача на комп'ютер (20-30 секунд);
7. після отримання знімків в базі з'явиться ScanSet (набір знімків), для того щоб виконати реконструкцію потрібно його відкрити та натиснути кнопку «START» на панелі «3D

RECONSTRUCTION» – розпочнеться процедура 3D реконструкції томографічних зрізів (1,5-2 хвилини, в залежності від продуктивності ПК);

8. в результаті 3D реконструкції біля відмітки ScanSet з'явиться відмітка Cube, натиснувши на неї відкриється вікно , в якому можна розглянути всі реконструйовані зрізи (обравши місце яке цікавить – необхідно навести фокус на нього , використовуючи повзунки для переміщення фокусу в аксіальній, корональній та сагітальній площинах);
9. на цьому виконання томосинтезу завершено, переглянути реконструйовані зрізи можна в будь-який момент, не підключаючи систему EqueTom, а просто відкривши базу даних в програмі AceClubs;
10. отже на даному етапі можна отримати весь комплекс знімків (для кожного з сеансів обстеження), та завершити роботу з ET (відключити приймач від ПК та вимкнути його, а також вимкнути рентгенівський випромінювач та гентрі);
11. лишається лише провести 3D реконструкції кожного ScanSet та опрацювати отримані дані.

### **3.4. Валідація та тестування**

Нанотрубки - це структури, що складаються заліза або карбону, і мають форму трубки з дуже малим діаметром. Вони мають надзвичайно малу товщину і велику довжину відносно їх діаметра, що робить їх вельми унікальними матеріалами з цікавими властивостями.

Історія дослідження нанотрубок почалася в 1991 році, коли японські вчені Суміо Іїма та Шіджі Нідзіма вперше виростили нанотрубки з мультишарового графіту. За це дослідження їм було присуджено Нобелівську премію з фізики в 2010 році.

Нанотрубки мають багато цікавих властивостей і можуть використовуватися в різних галузях, включаючи науку, технологію та медицину. Ось кілька основних застосувань нанотрубок:

1. Електроніка: Нанотрубки з карбону, такі як вуглецеві нанотрубки, мають виняткові електронні властивості. Вони можуть бути використані для створення транзисторів, інтегральних схем, сонячних батарей, електродів та інших компонентів електронної техніки.
2. Матеріали: Нанотрубки можуть бути використані для покращення механічних властивостей матеріалів. Вони можуть бути додані до полімерів, композитів та металів, щоб збільшити їх міцність, жорсткість та інші механічні характеристики.
3. Енергетика: Нанотрубки можуть мати застосування в області енергетики. Вони можуть бути використані в якості електродів у літієвих акумуляторах, водородних паливних елементах та сонячних батареях для поліпшення їх ефективності та енергетичних характеристик.
4. Біомедицина: Нанотрубки можуть бути використані у біомедичних дослідженнях та терапії. Вони можуть служити як носії ліків, сенсори для виявлення хвороб, а також для доставки та контролю звільнення лікарських препаратів в організмі.

Це лише кілька прикладів застосування нанотрубок, і дослідження в цій галузі продовжуються, щоб виявити їх потенційність у багатьох інших сферах.

Валідація та тестування томосинтезу є важливим етапом для переконання в його надійності, точності та відповідності вимогам медичної діагностики. Цей процес включає в себе наступні кроки:

1. Фантомні експерименти: Використовуються фантоми - штучні моделі, що імітують тканини людського тіла. За допомогою фантомів проводяться серії тестових знімків для оцінки якості та точності відтворення деталей на зображеннях.
2. Клінічні дослідження: Проводяться клінічні випробування, де реальні пацієнти проходять процедуру томосинтезу. Отримані зображення оцінюються медичними експертами з метою порівняння з іншими методами діагностики та визначення ефективності томосинтезу.
3. Валідація алгоритмів обробки зображень: Алгоритми обробки зображень, використовувані в томосинтезі, піддаються валідації та тестуванню. Використовуються стандартні тести та реальні зображення для перевірки правильності реконструкції та покращення якості зображень.
4. Порівняння з іншими методами: Результати томосинтезу порівнюються з результатами інших імагінгових методів, таких як мамографія, КТ або МРТ, для визначення переваг та обмежень техніки.
5. Тестування системних параметрів: Проводяться тестування функціональності та стабільності апаратного забезпечення, програмного забезпечення та інших системних параметрів для забезпечення безперебійної та надійної роботи томосинтезу.

В результаті валідації та тестування томосинтезу отримують достовірні дані про його ефективність, точність та придатність для використання в медичній практиці. Це дозволяє впевнено застосовувати технологію томосинтезу для діагностики та лікування пацієнтів.

## ВИСНОВКИ

РМТ з лінійкою випромінювачів на нанотрубках є перспективним напрямком розвитку медичної діагностики. В даній дипломній роботі було проведено детальний аналіз та розробка моноблоку.

У ході дослідження були розглянуті теоретичні основи рентгенівського томосинтезу, включаючи принципи роботи та переваги цього методу. Було проведено огляд рентгенівського томосинтезу, досліджено принцип роботи томосинтезу з лінійкою випромінювачів та визначено роль нанотрубок у рентгенівському моноблоку.

Для реалізації цієї роботи було вибрано необхідні технічні засоби, такі як НТ, детектори та інші компоненти. Були встановлені вимоги до матеріалів та технологій виготовлення моноблоку. Застосовано моделювання та оптимізацію роботи моноблоку для досягнення оптимальних результатів.

У роботі також було описано методику проведення експериментального дослідження. Було оцінено якість отриманих томосинтезових зображень та проведено аналіз результатів, порівняння з існуючими методами.

Отже, розробка рентгенівського моноблоку для томосинтезу з лінійкою випромінювачів на нанотрубках є актуальним напрямом в галузі медичної імагінгової технології. Ця робота вносить вагомий внесок у поліпшення діагностичних можливостей та точності медичних діагнозів, що має велике значення для пацієнтів та медичної спільноти.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томосинтез значно розширює можливості рентгенодіагностики Teleoptic. Teleoptic. URL: <https://www.teleoptic-ltd.com/2020/02/28/tomosintez/> (дата звернення: 06.06.2023).
2. Маммографія с томосинтезом - Medicīnas centrs ARS. Medicīnas centrs ARS. URL: [https://arsmed.lv/ru/diagnostika/mamografija\\_ru/](https://arsmed.lv/ru/diagnostika/mamografija_ru/) (дата звернення: 06.06.2023).
3. Цифровий томосинтез у діагностиці РМЗ - Kvitna. Kvitna. URL: <https://kvitna.org/8543-cifrovij-tomosintez-u-diagnostici-rmz.html> (дата звернення: 06.06.2023).
4. ▶ УЗИ молочных желез в Киеве → **【Сделать УЗИ груди】** . MEDIKOM | Приватна багатoproфiльна клініка в Києві. URL: <https://medikom.ua/ru/uzi-molochnyh-zhelez-kiev/> (дата звернення: 06.06.2023).
5. Никитин М.М., Ратобылский Г.В. Цифровой томосинтез в диагностике и контроле эффективности лечения туберкулеза органов дыхания ( обзор литературы) // Медицинская визуализация. — 2016. — №3. — С. 95-102.
6. Мистецтво лікування. ABC Діагностики. [Електронний ресурс] // 3 історії розвитку медичної радіології. № 10 (56)/2008. — С. 66-69. — Режим доступу:[http://www.health-medix.com/articles/misteztvo/2009-01-12/Tkashenko\\_Radiologiya.pdf](http://www.health-medix.com/articles/misteztvo/2009-01-12/Tkashenko_Radiologiya.pdf) (дата звернення 30.10.2020 р.). 5. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. [Electronic resource] // ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2
7. Закон України «Про охорону праці».
8. Кодекс законів про працю України.
9. Закон України «Про пожежну безпеку».



10. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення». 25. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні.
11. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.
12. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.
13. НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Наказ Держгірпромнагляду від 26.03.2010р. № 65.
14. ДБН 2.09.04-87 Адміністративні та побутові будівлі. 30. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»
15. ► УЗИ молочних желез в Киеве → **【Сделать УЗИ груди】** . MEDIKOM  
| Приватна багатoproфільна клініка в Києві.  
URL: <https://medikom.ua/ru/uzi-molochnyh-zhelez-kiev/> (дата звернення: 06.06.2023).