

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ  
«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РАДІАЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ»

для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності  
8.05140201 – біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Кафедрою біомедичної інженерії  
Протокол №4 від 27.10.2014 р.

Харків 2014

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Методи та засоби радіаційної медицини» для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 8.05140201 – біомедична інженерія / Упоряд. В.П. Старенький, Л.О. Авер'янова, Л.Л. Васильєв – Харків, ХНУРЕ, 2014. – 43 с.

Упорядники: В.П. Старенький,  
Л.О. Авер'янова,  
Л.Л. Васильєв

Рецензент: О.Г. Аврунін, д.т.н., проф. каф. БМІ

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
Тема 1. ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ	7
<b>Лабораторна робота №1.</b> Вивчення структури та принципів роботи гамма-терапевтичного апарату для дистанційної променевої терапії	7
1.1 Мета роботи	7
1.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів	7
1.3 Опис апарату дистанційної гамма-терапії	9
1.4 Порядок виконання роботи	13
1.5 Зміст звіту	14
1.6 Контрольні запитання і завдання	15
<b>Лабораторна робота №2.</b> Вивчення структури та принципів роботи лінійного прискорювача електронів для дистанційної променевої терапії	16
2.1 Мета роботи	16
2.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів	16
2.3 Опис лінійного прискорювача електронів	17
2.4 Порядок виконання роботи	20
2.5 Зміст звіту	22
2.6 Контрольні запитання і завдання	23
Тема 2. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ДИСТАНЦІЙНІЙ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ	24
<b>Лабораторна робота №3.</b> Вивчення принципів роботи інформаційно-управляючої системи комплексу дистанційної променевої терапії на базі лінійного прискорювача електронів	24
3.1 Мета роботи	24
3.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів	24
3.3 Опис інформаційно-управляючої системи	25
3.4 Порядок виконання роботи	30
3.5 Зміст звіту	31
3.6 Контрольні запитання і завдання	31

<b>Лабораторна робота №4. Вивчення технології комп'ютерного планування дистанційної променевої терапії</b>	32
4.1 Мета роботи	32
4.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів	32
4.3 Опис системи планування променевої терапії	32
4.4 Порядок виконання роботи	40
4.5 Зміст звіту	41
4.6 Контрольні запитання і завдання	41
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	42

## ВСТУП

Реалізація сучасних технологій радіаційної медицини потребує підготовки висококваліфікованого інженерно-дослідницького персоналу, який має володіти міждисциплінарними знаннями та вміннями.

**Мета викладання дисципліни.** Вивчення дисципліни «Методи та засоби радіаційної медицини» для фахівців з біомедичної інженерії має на меті забезпечення високого рівня підготовки технічних фахівців для галузі радіаційної медицини, знання теоретичних основ променевої терапії (ПТ), сучасних методів, технічних та інформаційних засобів реалізації променевого лікування, а також технологій радіаційного моніторингу та забезпечення якості променевої терапії.

Суть дисципліни «Методи та засоби радіаційної медицини» полягає у вивченні радіобіологічних та фізико-технічних основ променевої терапії, сучасних методів, технічних та інформаційних засобів реалізації променевого лікування, ознайомлення з технологіями радіаційного моніторингу та забезпечення якості променевої терапії, основ планування технічної інфраструктури центру ПТ [1, 3-6].

Для оволодіння дисципліною «Методи та засоби радіаційної медицини» студент має набути знань із загальної анатомії, фізіології та патології людини, біохімії, біофізики, електроніки, інформаційних технологій, радіаційної візуалізації, безпеки життєдіяльності людини.

**Програма знань і умінь** За результатом вивчення дисципліни студент повинен знати теоретичні основи медичних радіаційних технологій, принципи роботи засобів технічного та інформаційного забезпечення променевої терапії, методи радіаційного моніторингу у променевій терапії, а також ознайомитись з особливостями технічного обслуговування комплексів променевої терапії. Студент повинен уміти проаналізувати фізико-технічні та радіобіологічні аспекти реалізації методів променевої терапії, визначати основні технічні процедури контролю роботи апаратного забезпечення,

технологію комп'ютерного планування променевої терапії, а також визначати та забезпечувати заходи з радіаційної безпеки медичних процедур [2].

Робоча програма дисципліни «Методи та засоби радіаційної медицини» передбачає лекційні та лабораторні заняття. Виконання лабораторних робіт дозволяє студентові під керівництвом викладача ознайомитись із технічними принципами функціонування радіотерапевтичних систем, реалізовувати окремі функції та режими їх роботи за допомогою сучасних програмних засобів. Студенти, які успішно виконали лабораторний практикум, можуть самостійно здійснювати імітаційні експерименти, набувати навичок дослідницької роботи у галузі медичних радіаційних технологій, відпрацьовувати методики аналізу та програмної обробки даних при плануванні променевого лікування.

**Порядок виконання лабораторних робіт.** На початку першого заняття всі студенти повинні ознайомитися з правилами техніки безпеки і розписатися про це в журналі обліку виконання лабораторних робіт. Студенти, які не ознайомилися з правилами техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

Кожній лабораторній роботі (ЛР) повинна передувати самостійна підготовки студентів, у процесі якої потрібно вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи, конспект лекцій та рекомендовані літературні джерела. Перед початком ЛР викладач перевіряє підготовленість студентів до виконання конкретної лабораторної роботи, де студенти мають знати мету і порядок виконання роботи.

Результати виконання ЛР відображаються у звіті, який повинен містити: назву лабораторної роботи, мету роботи, структурні схеми, графіки, таблиці з даними, тексти програм та результати їх виконання, а також висновки з результатами аналізу отриманих даних. До початку наступної ЛР студент повинен надати викладачеві повністю оформлений звіт про попередню роботу та захистити її. Залік з ЛР студент отримує після співбесіди з викладачем за темою виконання робіт.

## ТЕМА 1. ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ

Основним технічним завданням у ПТ є забезпечення підведення біоадекватної дози іонізуючого випромінювання до пухлинного осередку. Вибір методу променевого лікування відбувається на етапі передпроменевої підготовки. Серед існуючих нині методів ПТ найширшого клінічного застосування (95-98% випадків) набула дистанційна променева терапія.

Дистанційна променева терапія (ДПТ) – метод променевої терапії, який базується на застосуванні апаратно сформованих потоків високоенергетичних фотонів або прискорених заряджених частинок (гамма- та ікс-променева терапія, протонна, електронна та нейтронна ПТ). При дистанційному опроміненні джерела іонізуючого випромінювання розташовуються поза організмом. Для реалізації методів ДПТ застосовуються різноманітні апарати та електрофізичні установки для генерації та інжекції фотонних або корпускулярних пучків.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

«Вивчення структури та принципів роботи гамма-терапевтичного апарату для дистанційної променевої терапії»

#### 1.1 Мета роботи

Ознайомлення з технічними характеристиками та принципом роботи апарату дистанційної гамма-терапії, технологією реалізації променевого лікування

#### 1.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів

При підготовці до ЛР необхідно опрацювати теоретичний матеріал щодо фізичних та технічних принципів побудови системи дистанційної гамма-терапії [1, розд. 4], проаналізувати особливості технології дистанційного опромінення із застосуванням гамма-терапевтичних апаратів.

У ДПТ як джерело гамма-випромінення високої енергії найчастіше застосовується ізоотоп  $^{60}\text{Co}$ . Основний механізм взаємодії гамма-випромінення ізоотопу  $^{60}\text{Co}$  зі структурами біологічного об'єкту – ефект Комптона. Розпад ізоотопу  $^{60}\text{Co}$  супроводжується випромінюванням  $\beta^-$ -частинок і, переважно, гамма-фотонів з енергією 1,17/1,33 MeV (рис.1.1).

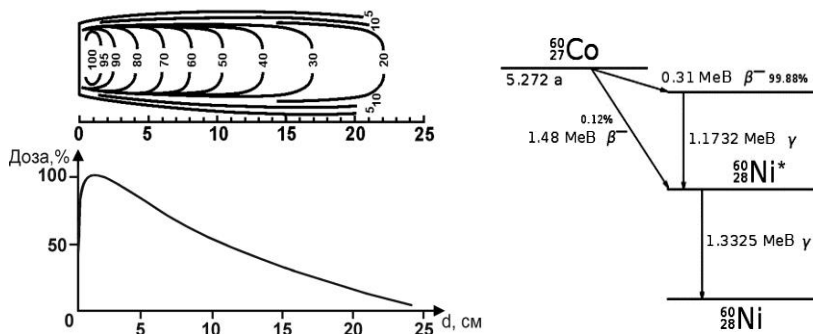


Рисунок 1.1 – Глибинний розподіл дози гамма-випромінення ізоотопу  $^{60}\text{Co}$  у воді та схема його розпаду

Період напіврозпаду  $T$  для ізоотопу  $^{60}\text{Co}$  складає 5,27 року. Зменшення абсолютної активності  $A(t)$  ізоотопу відносно початкового значення  $A_0$  відбувається за експоненціальним законом

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.1)$$

де  $\lambda$  – константа розпаду ізоотопу,  $\lambda = 1/T$ .

Для ізоотопу  $^{60}\text{Co}$  константа  $\lambda = 0,000358$  розп./ добу або 0,13 розп. /рік. Поточна активність джерела розраховується за (1.1) з метою визначення часу опромінення у відповідності з призначеною лікарем дозою випромінення на фракцію.

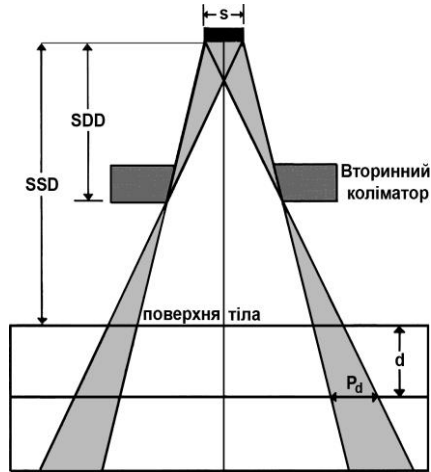
В гамма-апаратах ізоотопне джерело випромінення не можна вважати точковим, через це навколо поля терапевтичного пучка утворюється додаткове поле геометричної напівтіні шириною  $P_d$ , яка на глибині мішені  $d$  може сягати 1 см (рис.1.2).



Ця величина також залежить від співвідношення розміру джерела  $s$ , відстані між джерелом та поверхнею тіла пацієнта  $SSD$  та відстані від джерела до вторинного коліматора  $SDD$ :

$$P_d = \frac{s \cdot (SSD + d - SDD)}{SDD} \quad (1.2)$$

Рисунок 1.2 –  
Схема  
формування  
геометричної  
напівтіні від  
джерела  
випромінення  
розміру  $s$



Гамма-терапевтичні (кобальтові) апарати дозволяють сформувати та рухати пучок гамма-випромінення, утвореного при радіоактивному розпаді ізотопу  $^{60}\text{Co}$  (рис.1.1).

### 1.3 Опис апарату дистанційної гамма-терапії

Узагальнена структурна схема апарату гамма-терапії із джерелом  $^{60}\text{Co}$  наведена на рис.1.3. Апарат містить опромінювач (рис.1.4), змонтований на С-подібному гентрі, що обертається навколо пацієнта, а також блок живлення, пульт блоку управління, систему позиціонування.

Опромінювач апарату гамма-терапії змонтований у головці гентрі та містить екранований контейнер з радіоактивним джерелом  $^{60}\text{Co}$ , системи руху джерела та колімації пучка.

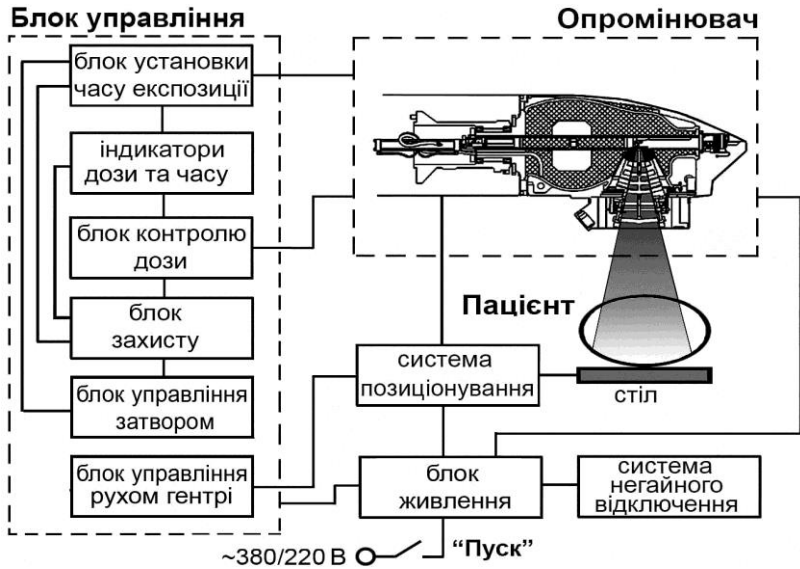


Рисунок 1.3 – Структурна схема апарату гамма-терапії

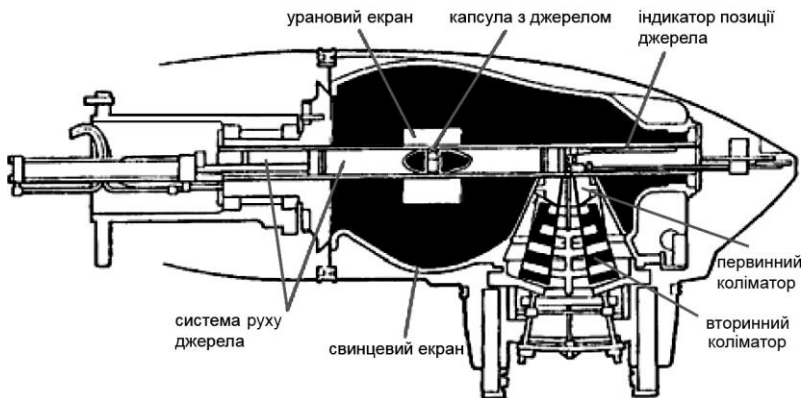


Рисунок 1.4 – Конструкція опромінювача гамма-терапевтичного апарату Theratron 780 (Theratron International Ltd., Канада)

Джерело знаходиться у циліндричній капсулі, діаметр та висота якої складає  $1,5 \div 2$  см. Джерело механічно рухається всередині опромінювача від позиції зберігання (всередині свинцевого екрану) до позиції опромінення (навпроти отвору первинного коліматора). Місцезнаходження джерела позначається за допомогою індикаторів світлової сигналізації на апараті та пульті управління (червоний – джерело у позиції опромінення, жовтий – проміжна позиція джерела, зелений – позиція зберігання). В неробочому стані джерело  $^{60}\text{Co}$  зберігається всередині апарату в надійному захисному екрані. У режимі опромінення джерело  $^{60}\text{Co}$  виштовхується в робочу позицію над первинним коліматором.

Первинний коліматор створює конічну апертуру пучка. Рухомий вторинний коліматор утворює прямокутне поле опромінення гамма-апарату та дозволяє регулювати його розміри у межах від  $1 \times 1 \text{ см}^2$  до  $35 \times 35 \text{ см}^2$ . Для візуалізації поля опромінення на робочу позицію (над первинним коліматором) замість джерела  $^{60}\text{Co}$  виводиться джерело світла, яке формує прямокутне світлове поле, що слугує орієнтиром для суміщення поля опромінення з мішенню на тілі пацієнта.

Для зменшення геометричної напівтіні відповідно до (1.2) потрібно збільшити відстань *SDD*. Для цього застосовують додаткові коліматори (тримери), що розташовуються найближче до поверхні тіла пацієнта. Разом з коліматорами застосовують засоби формування індивідуального поля опромінення – захисні блоки для обмеження опромінення оточуючих здорових тканин.

Для відліку часу опромінення застосовують основний та дублюючий таймери. Доза опромінення відпускається протягом визначеного часового інтервалу, який розраховується з поправкою на поступове зменшення активності джерела.

Джерело електричного живлення апарату забезпечує роботу електромеханічної системи, таймерів, світлових індикаторів, сигналізаторів та контрольно-вимірювальних пристроїв.

Апарат забезпечує як статичне, так і рухоме (ротаційне, секторне, дотичне) далекодистанційне опромінення пацієнта

гамма-променями (рис.1.5). Для суміщення ізоцентру апарату з мішенню застосовують ручний пульт управління або дублюючі елементи управління, розміщені на корпусі кушетки пацієнта. Правильність укладки пацієнта перевіряється за допомогою променів лазерних покажчиків, розміщених на стінах процедурної кімнати (рис.1.6).

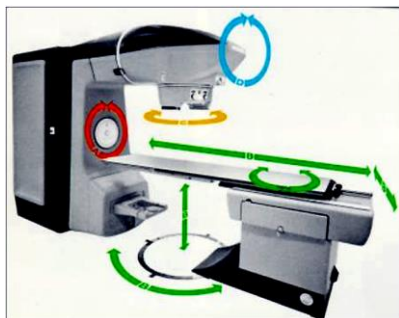


Рисунок 1.5 – Схема позиціонування гамма-терапевтичної системи та суміщення пучка з мішенню у апараті ДПТ ізоцентричного типу з С-гентрі

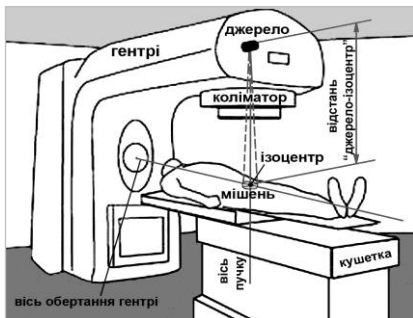
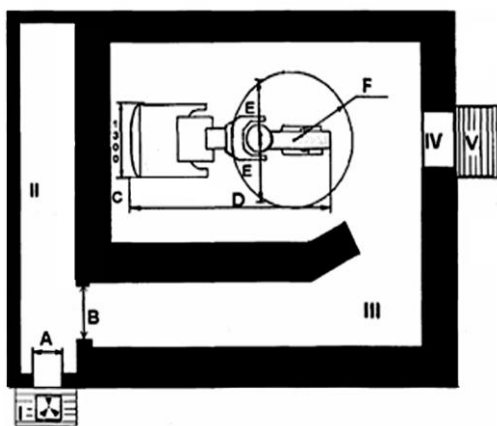


Рисунок 1.6 – Типовий план блоку ДПТ з гамма-апаратом РОКУС-АМ:



А – вхід ( $\geq 90$  см);  
 В – прохід ( $\geq 90$  см);  
 С – відстань між апаратом та стіною ( $\geq 110$  см);  
 D, E, F – габарити апарату;  
 I, V – майданчики для розвантаження обладнання;

II – пультова кімната; III – процедурна; IV – тимчасовий монтажний отвір

Керування рухомими частинами апарату під час опромінення здійснюється зі стаціонарного пульта управління. Для слідкування за положенням пацієнта та рухами апарату під час опромінення в процедурній кімнаті встановлена відеокамера, монітор якої знаходиться у пультовій кімнаті.

Методика тестування апарату гамма-терапії полягає у перевірці цілісності джерела та правильності його позиціонування, відповідності позиції поля опромінення світловому полю, точності таймерів, у вимірюванні потужності дози тощо. Обслуговуючий персонал гамма-терапевтичного апарату повинен знати і суворо дотримуватися вимог Норм радіаційної безпеки України-97 [2], ОСПУ-2005, наказу № 166 від 03.10.2008г. «Про затвердження Вимог до системи управління якістю проведення діагностичних та терапевтичних процедур з використанням джерел іонізуючого випромінювання» та інструкції з радіаційної безпеки на робочому місці.

#### 1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1 Ознайомитися з будовою та принципами роботи окремих складових гамма-терапевтичного апарату, що вивчається, скласти його структурну схему за зразком рис.1.2. Ознайомитися з елементами управління апаратом, підготовкою його до роботи, порядком роботи під час та після опромінення. Навести малюнок конструкції опромінювача за зразком рис. 1.3.

Заповнити табл. 1.1, доповнивши її даними технічних характеристик апаратів-аналогів [1]. Порівняти можливості апаратів та зробити висновки щодо рівня їх технічної оснащеності та відповідності вимогам радіаційного захисту.

1.4.2 Визначити активність джерела  $^{60}\text{Co}$  за (1.1) на момент проведення роботи. Розрахувати величину геометричної напівтіні терапевтичного пучка за (1.2) на поверхні тіла, на глибини мішені 1см, 5 см, 10 см.

1.4.3 Визначити та описати методику застосування апарату для проведення променевої терапії, засобів

позиціонування пацієнта, основних та додаткових засобів формування поля опромінення.

1.4.4 Замалювати схему розташування гамма-терапевтичного апарату в процедурній кімнаті із зазначенням його габаритних розмірів, розмірів приміщення, товщини стін та дверей, технологічного оснащення (рис. 1.6).

1.4.5 Ознайомитись із правилами безпеки при роботі з гамма-терапевтичним апаратом, порядком роботи персоналу при виникненні аварійної ситуації.

Таблиця 1.1 – Основні технічні параметри гамма- апаратів ДПТ

Параметр	РОКУС-АМ	Аналог 1	Аналог 2
Відстань «джерело- поверхня», см			
Відстань «джерело- вторинний коліматор, см			
Діаметр джерела, см			
Максимальна потужність дози, сГр/хв			
Оберт гентрі, °			
Оберт коліматора, °			
Межі зміни розміру поля опромінення, см			
Час відкривання (закривання) затвору захисного контейнера, с			
Час випуску (перекриття) пучка,с			

## 1.5 Зміст звіту

Звіт має містити:

- мету роботи;
- стислі відомості про застосоване обладнання, опис режимів опромінення та послідовність дій персоналу при проведенні променевого лікування;

- структурну схему системи опромінення та малюнок випромінювача із зазначеними основними складовими та схемою їх руху (див. рис. 1.3-1.5);

- розрахунки поточної активності джерела та геометричної напівтіні терапевтичного пучка за (1.1, 1.2.)

- порівняльну таблицю (табл. 1.1) з основними технічними параметрами гамма-терапевтичних апаратів ДПТ з аналізом її даних;

- план блоку дистанційної гамма-терапії (рис.1.6) із зазначенням габаритів приміщення та апаратних засобів, внутрішніх технологічних систем (сигналізації, позиціонування тощо).

- висновки.

## 1.6 Контрольні запитання і завдання

1. Проаналізуйте схему опромінювача гамма-терапевтичного апарату.

2. Що є джерелом іонізуючого випромінювання гамма-терапевтичного апарату. Назвіть його основні фізико-технічні параметри.

3. Як утворюється геометрична напівтінь та від чого залежить її величина?

4. Яким чином контролюється позиція джерела випромінювання у гамма-терапевтичному апараті?

5. Які способи опромінення реалізує гамма-терапевтичний апарат?

6. Як формується поле опромінення гамма-терапевтичного апарату?

8. Які спеціальні засоби застосовуються для обмеження поля опромінення гамма-терапевтичного апарату?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

«Вивчення структури та принципів роботи лінійного прискорювача електронів для дистанційної променевої терапії»

### 2.1 Мета роботи

Ознайомлення з технічними характеристиками та принципом роботи лінійного прискорювача електронів для дистанційної променевої терапії, технологією реалізації променевого лікування із застосуванням прискорювача.

### 2.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів

При підготовці до ЛР необхідно опрацювати теоретичний матеріал щодо фізичних та технічних принципів дії системи дистанційної променевої терапії на базі лінійного прискорювача електронів [1, розд.5], проаналізувати особливості технологій опромінення із застосуванням лінійного прискорювача електронів [3-5].

Джерелами опромінення у лінійному прискорювачі електронів є технічно згенеровані пучки високої енергії: фотонні пучки гальмівного випромінювання (6÷18 MeV) для глибинного опромінення (рис.2.1а) та пучки прискорених електронів (6÷25 MeV) для приповерхневого опромінення (рис.2.1б). Для генерації цих пучків у променевій терапії застосовуються малогабаритні прискорювачі електронів.

Прискорювач електронів – це фізична установка, в якій за допомогою електричних та магнітних полів створюються спрямовані пучки електронів з енергією, значно більшою за теплову. Основна схема прискорення передбачає три стадії: генерація та інжекція пучка; прискорення; виведення на мішень.

Медичні лінійні прискорювачі електронів – це установки, у яких електрони прискорюються до кінетичної енергії від 4 до 25 MeV із застосуванням електромагнітних полів у діапазоні надвисоких частот 1÷10 ГГц.



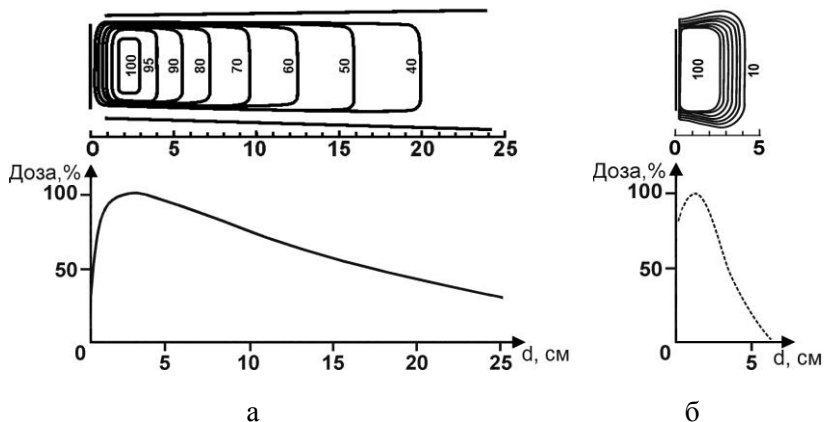


Рисунок 2.1 – Глибинний розподіл доз у пучку гальмівного випромінювання (а) та пучка електронів (б) енергії 6 MeV у воді

Основним механізмом взаємодії пучка гальмівного випромінювання зі структурами біологічного об'єкту при енергії до 10 MeV є ефект Комптона, понад 10 MeV – ефект утворення пар «електрон-позитрон»; дія прискорених пучків електронів відбувається за механізмом кулонівського розсіювання.

Прискорені електрони при бомбардуванні ікс-променевої мішені продукують гальмівне випромінювання високої енергії. Лінійний прискорювач електронів може мати систему безпосереднього виведення електронного пучка з енергією 6, 9, 12, 16, 22 MeV.

Основними конструктивними складовими апаратного комплексу терапевтичного прискорювача є: гентрі, стійка гентрі, імпульсний модулятор, кушетка пацієнта, пульт управління.

### 2.3 Опис лінійного прискорювача електронів

Узагальнена структурна типового лінійного прискорювача електронів для ДПТ наведена на рис.2.2. Апарат містить опромінювач (рис.2.3), змонтований на С-гентрі.

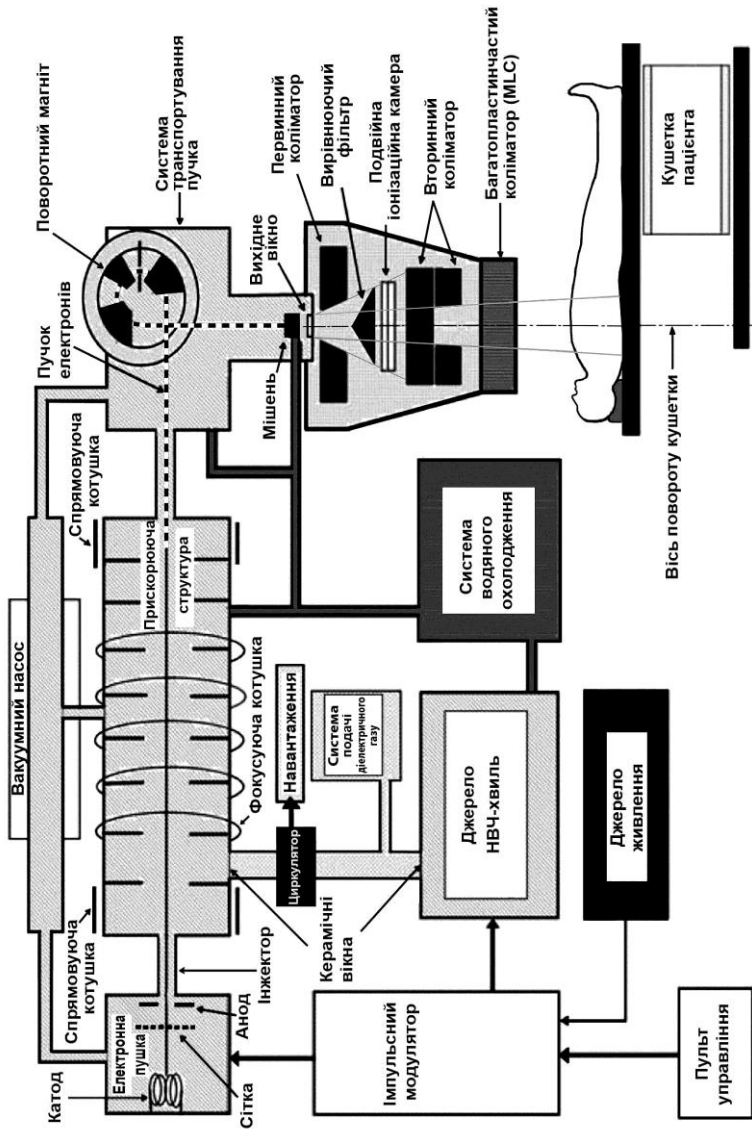


Рисунок 2.2 – Структурна схема медичного лінійного прискорювача електронів

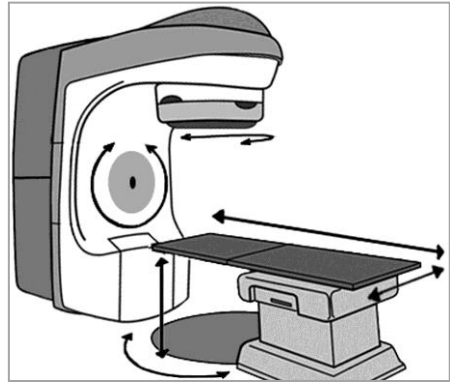


Рисунок 2.3 – Будова опромінювача лінійного прискорювача 6 MeV та схема рухів терапевтичної системи

Основними функціональними системами лінійного прискорювача є: система інжекції електронів; система генерації НВЧ-хвиль; система прискорення електронів; система транспортування потоку електронів; система колімації та моніторингу терапевтичного пучка; обслуговуючі системи.

Функціональна готовність та безпека експлуатації лінійного прискорювача електронів визначається у відповідності з принципами міжнародного стандарту ІЕС 60976-2011 [5]. Глобальним засобом управління комплексом ДПТ на базі лінійного прискорювача електронів є спеціалізована інформаційна управляюча система (ІУС), яка реалізує задачу управління технологічним процесом лікування та клінічною інформацією.

Безпосереднє управління прискорювачем здійснюється з робочої станції управління, яка містить спеціалізований пульт управління та комп'ютерні системи контролю параметрів та режимів роботи прискорювача, коліматора MLC, системи портальної візуалізації, моніторингу дихальних рухів пацієнта тощо. Окремі функції управління прискорювачем оператор може виконувати в процедурній, користуючись ручним пультом-маніпулятором.

Конфігурація системи управління для кожного типу прискорювача та алгоритм її роботи наводиться у технічній документації виробника (рис.2.4).

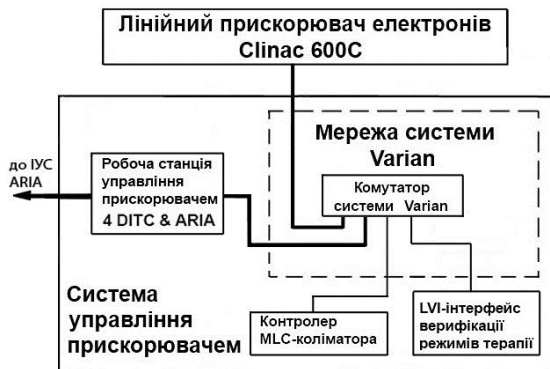


Рисунок 2.4 – Система ДПТ на базі лінійного прискорювача електронів Varian Clinac 600C

Блок ДПТ з лінійним прискорювачем електронів (рис.2.5) влаштований за тими ж принципами стаціонарного захисту, що і блок гамма-терапії. Проте через значно більшу проникаючу здатність гальмівного випромінювання високої енергії ( $6\div 18$  MeV) та можливість виникнення вторинного випромінювання (фотонейтрони, ізотопи) збільшується товщина стін процедурної в площині обертання гентрі (первинний бар'єр), передбачаються додаткові стіни лабіринту (вторинний бар'єр), змінюється також конструкція дверей.

Вхід до процедурної розташовують у місцях з найменшими рівнями випромінювання. Процедурні обладнуються системами блокування, світлової та звукової сигналізації. Прискорювачі з енергією випромінювання понад 10 MeV розміщуються в окремій будівлі або окремому крилі блоку ДПТ.

## 2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1 Ознайомитися з будовою та принципами роботи окремих складових лінійного прискорювача електронів, що вивчається; скласти його структурну схему за зразком рис.2.2.

Ознайомитись з елементами управління апаратом (рис.2.4), підготовкою його до роботи, порядком роботи під час та після опромінення. Скласти малюнок конструкції опромінювача за зразком рис. 2.3.

Визначити дані табл. 2.1 для прискорювачів низької та високої енергії [<http://www.oncologysystems.com/radiation-therapy/linear-accelerators/>]. Порівняти можливості апаратів та зробити висновки щодо рівня їх технічної осначеності та відповідності вимогам радіаційного захисту пацієнта та персоналу.

Таблиця 2.1 – Основні технічні можливості лінійних прискорювачів електронів

Параметри	Varian Clinac 600C	Varian Clinac 2100
Енергія фотонів, MeV		
Енергія електронів, MeV		
Джерело НВЧ-коливань		
Коліматор MLC		
Портальна візуалізація		
Технології опромінення		
Засоби візуалізації при опроміненні		
Стереотаксичне опромінення		
...		

2.4.2 Визначити та описати методику застосування апарату для проведення променевої терапії, засобів позиціонування пацієнта, основних та додаткових засобів формування поля опромінення.

2.4.3 Замалювати схему розташування прискорювача в процедурній кімнаті із зазначенням його габаритних розмірів, розмірів приміщення, товщини стін та дверей, технологічного оснащення (рис. 2.5).

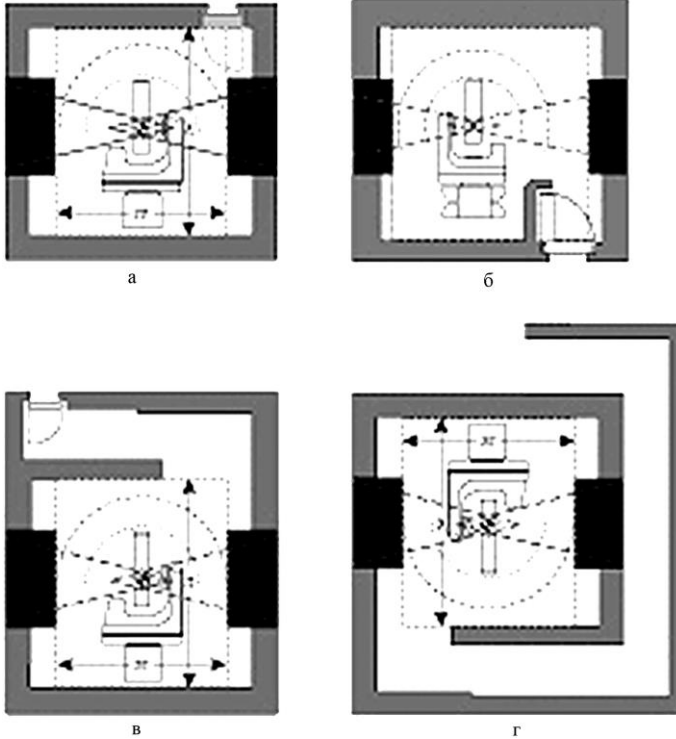


Рисунок 2.5 – Варіанти планування процедурних кімнат (бункерів) для лінійних прискорювачів електронів:  
 а – з безпосереднім входом; б – з міні-лабіринтом;  
 в – з лабіринтом; г – з лабіринтом без дверей

2.4.4 Ознайомитись із правилами безпеки при роботі з прискорювачем, порядком роботи персоналу при виникненні аварійної ситуації.

## 2.5 Зміст звіту

Звіт має містити:  
 - мету роботи;

- стислі відомості про застосоване обладнання, опис режимів опромінення та послідовність дій персоналу при проведенні променевого лікування;

- структурну схему системи опромінення та малюнок випромінювача із зазначеними основними складовими та схемою їх руху (див. рис. 2.2, 2.3);

- порівняльну таблицю (табл. 2.1) з основними технічними параметрами прискорювачів для ДПТ з аналізом її даних;

- план блоку ДПТ із лінійним прискорювачем електронів (рис.2.4) із зазначенням габаритів приміщення та апаратних засобів, внутрішніх технологічних систем (сигналізації, позиціонування тощо).

- висновки.

## 2.6 Контрольні запитання і завдання

1. У якому діапазоні енергій застосовуються лінійні прискорювачі електронів у променевій терапії?

2. Назвіть основні функціональні системи медичного лінійного прискорювача електронів та їх призначення.

3. Поясніть принцип резонансного прискорення заряджених частинок у лінійному прискорювачі.

4. Для чого у медичному лінійному прискорювачі застосовується система транспортування потоку електронів?

5. Назвіть основні елементи системи колімації прискорювача для формування поля опромінення у режимі фотонної терапії.

6. У чому відмінність принципу формування терапевтичного пучка у режимі електронної терапії?

7. Який принцип дії багатопластинчастого коліматора MLC?

8. Які обслуговуючі системи застосовуються у медичних прискорювачах?

9. Як здійснюється управління медичним лінійним прискорювачем?

## Тема 2. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ДИСТАНЦІЙНІЙ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

«Вивчення принципів роботи інформаційно-управляючої системи комплексу дистанційної променевої терапії на базі лінійного прискорювача електронів»

#### 1.3 Мета роботи

Ознайомлення з системою управління та комп'ютерно-комунікаційними засобами комплексу дистанційної променевої терапії.

#### 3.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів

При підготовці до ЛР необхідно опрацювати теоретичний матеріал щодо принципів управління інформаційними потоками та апаратними засобами комплексу дистанційної променевої терапії на базі лінійного прискорювача електронів [1, п.5.4], проаналізувати варіанти технічної реалізації інформаційно-комунікаційної системи центру ДПТ [6].

Комплекси ДПТ останньої генерації неможливо уявити без потужного інформаційно-комп'ютерного забезпечення. Завдяки його застосуванню у ДПТ забезпечуються такі технічні можливості: повна інформаційна інтеграція систем діагностики, передпроменевої підготовки та опромінення; функціональна сумісність комп'ютерно-комунікаційного обладнання та апаратних засобів ДПТ; швидкісний обмін даними між окремими компонентами радіотерапевтичного комплексу в режимі on-line; інтелектуалізація процесу обробки та аналізу клінічної інформації; високий рівень автоматизації управління радіотерапевтичним обладнанням.

Всі ці нові інформаційні та технічні можливості дозволяють створити у відділенні ДПТ якісно нове робоче середовище – віртуальний інтелектуальний простір. Він



реалізується як мережева комп'ютерно-інтегрована організаційна структура, яка передбачає інтенсивну взаємодію спеціалістів та підрозділів клініки (відділень) у віртуальному просторі.

### 3.3 Опис інформаційно-управляючої системи

**Інформаційні управляючі системи (ІУС)** є основою побудови віртуального інтелектуального робочого середовища. Для центрів ДПТ розробляються спеціалізовані ІУС, які зосереджують у собі всі функціональні можливості окремих підрозділів та організують повний цикл операцій з підготовки та проведення ДПТ. Сучасна онкологічна ІУС є спеціалізованою комп'ютерною системою, яка базується на архітектурі «клієнт-сервер». До апаратної складової цієї системи входять сервери, робочі станції та мережеве комунікаційне обладнання. Інформаційна складова онкологічної ІУС містить адміністративні, діагностичні та клінічні дані, а також дані топометрії, дозиметрії, дані про режими роботи радіотерапевтичного апарата тощо.

Сучасні ІУС, які працюють на базі швидкодіючих інформаційно-комунікаційних засобів, здатні забезпечити медикам зручний доступ до службової інформації, яка може бути опрацьована та проаналізована в режимі реального часу. Проте при роботі в межах онкологічної ІУС медичний та технічний персонал має обмежений доступ до інформації відповідно до службової та професійної ієрархії. Інформація, розміщена в ІУС, захищена від несанкціонованого доступу, ввійти до неї можна тільки за допомогою особистих паролів.

Онкологічні ІУС нового покоління реалізують не тільки задачу глобального управління адміністративною та клінічною інформацією, але й надають можливість аналізу цієї інформації. Такі системи виконують широкий, різноманітний та насичений спектр завдань: управління комплексом для дистанційної ПТ; ведення електронних історій хвороби і поточної службової документації; одночасне опрацювання даних із кількох відділень; мультимодальна реєстрація та обробка зображень;

застосування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у радіотерапії; обслуговування інших видів лікування (хемотерапія, контактна променева терапія, протонна терапія); контроль приготування та відпускання ліків; контроль безпеки лікування та ін.

Зважаючи на особливості організації роботи та технічні можливості конкретного лікувального закладу, проектують єдину інформаційну технологію, яка має враховувати обсяги інформації, специфіку її обробки і в той же час забезпечити сумісність у використанні цієї інформації іншими лікувальними закладами.

### **Визначення апаратної конфігурації комплексу ДПТ.**

У процесі створення робочого середовища відділення ДПТ необхідно визначити принципи реалізації заданої технології променевого лікування, обрати конфігурацію апаратних засобів, які забезпечували б виконання сучасних клінічних вимог до якості променевого лікування.

Як приклад на рис. 3.1 наведена конфігурація апаратного забезпечення технології дистанційної променевої терапії, реалізована у відділенні ДПТ Інституту медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України. Ключовий компонент цієї системи – лінійний прискорювач електронів.

Для реалізації повного технологічного циклу сучасної ДПТ лінійний прискорювач має застосовуватись у комплексі з іншими апаратними засобами: ікс-променевим симулятором ПТ, дозиметричним обладнанням, комп'ютерними робочими станціями.

Таким чином, всі основні апаратні засоби поєднані зі спеціалізованими комп'ютерами, мають системи візуалізації робочої інформації та засоби зберігання, обробки та обміну даними, які поєднані у єдину локальну комп'ютерну мережу за допомогою комунікаційних пристроїв. До цієї ж мережі можуть під'єднуватись комп'ютери персоналу відділення, для яких доступ до даних по локальній мережі дозволяється відповідно до статусу кожного працівника.

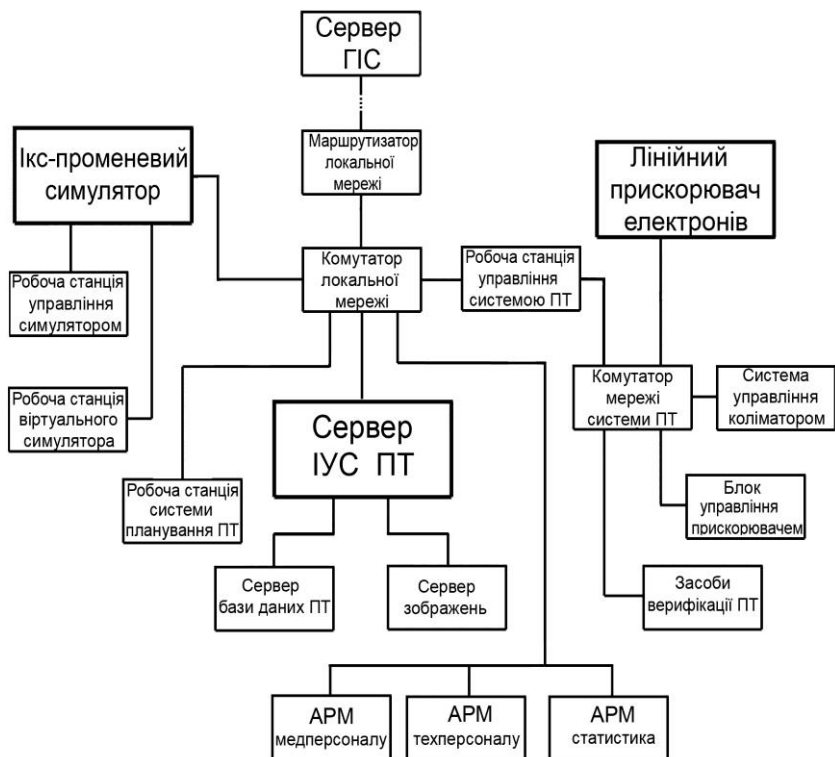


Рисунок 3.1 – Структурна схема апаратного забезпечення комплексу ДПТ

**Визначення засобів інформаційно-комунікаційного забезпечення ДПТ.** Відповідно до схеми апаратного забезпечення ДПТ (рис.3.1) реалізована схема інформаційно-комунікаційної системи (ІКС) відділення ДПТ (рис.3.2). Основою ІКС ДПТ є онкологічна інформаційна управляюча система ІУС, яка реалізує не тільки задачі глобального управління адміністративною та клінічною інформацією, але й надає можливість планування та керування процесом лікування та інтелектуального аналізу медичної інформації.

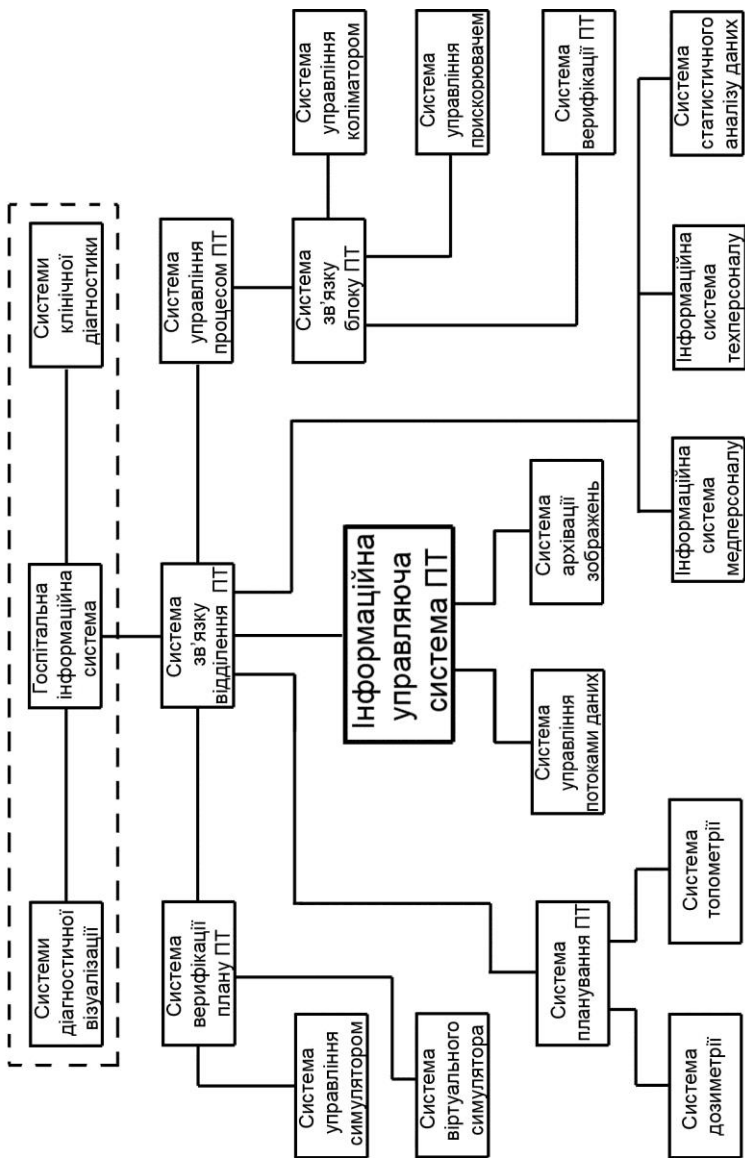
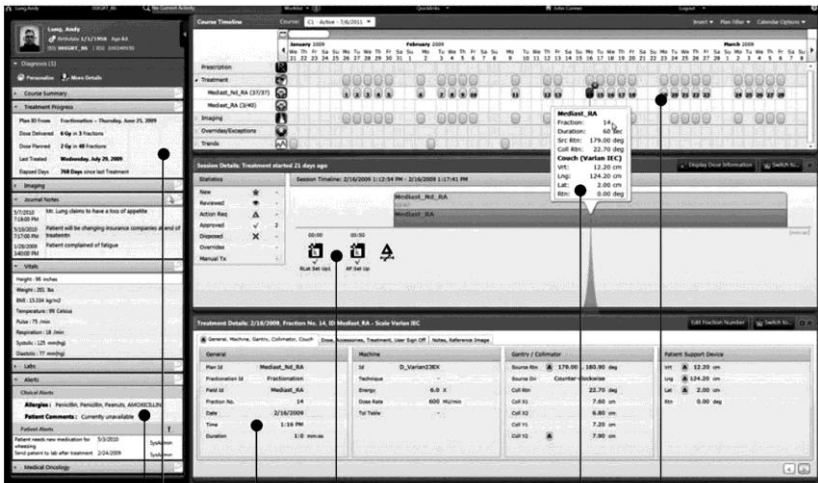


Рисунок 3.2 – Схема інформаційно-комунікаційної системи відділення ДПТ

Спільно з обраним для ДПТ апаратним комплексом на основі прискорювача Varian Clinac 600C застосовується онкологічна ІУС ARIA, яка здійснює управління потоками даних при реалізації наступних завдань (рис. 3.3): мультимодальна реєстрація та обробка зображень; керування роботою систем планування та верифікації ДПТ; управління апаратним комплексом ДПТ; ведення електронних історій хвороби і поточної службової документації.



нагадування, клінічні та індивідуальні перестороги

інформація про зображення параметри індивідуального плану опромінення

інформація про план лікування

опис поточного сеансу

звіт про хід лікування

Рисунок 3.3 – Робоче вікно інтерфейсу ІУС ARIA для управління процесом променевої терапії (<http://www.varian.com/media/oncology/products/aria/pdfs>)

В опціях ІУС ARIA реалізовані технології ПТ з візуальним контролем (IGRT), стереотаксичної ПТ (SBRT), стереотаксичної радіохірургії (SRS), об'ємно-модульованої арк-терапії (VMAT), протонної терапії, брахітерапії. ІУС ARIA має відкриту архітектуру, може нарощуватись та консолідуватись до клінічної інформаційної системи ГІС та системи PACS.

### 3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Проаналізувати та описати структуру апаратного та програмного забезпечення комплексу ДПТ відділення променевої терапії (див. рис. 3.1, 3.2).

3.4.2. Визначити функціональне призначення окремих комп'ютерних систем відділення ПТ та проаналізувати посадові інструкції технічного персоналу щодо роботи з цими системами.

3.4.3. Ознайомитись з описом та технологічними можливостями ІУС ARIA, її конфігурацією, яка реалізована у комплексі ПТ Varian.

3.4.4. Провести порівняння можливостей двох найбільш широко впроваджених онкологічних ІУС ПТ:

- ARIA (для комплексів ПТ Varian),

[http://www.varian.com/euru/oncology/radiation\\_oncology/aria/](http://www.varian.com/euru/oncology/radiation_oncology/aria/)

- MOSAIQ (для комплексів ПТ Elekta),

<http://www.elekta.com/healthcare-professionals/products/elekta-software.html>

Таблиця 3.1 – Технічні можливості онкологічних ІУС

Перелік опцій	ARIA Varian	MOSAIQ Elekta
Інтегровані до ІУС програмні засоби		
Можливість гнучкого конфігурування		
Можливість інтегрування з іншими ІУС		
Інтегрована система контролю безпеки		
Інтегрована система контролю якості ПТ		
Генерація звітних документів		
Підтримка технології IGRT		
Підтримка технології SBRT		
Підтримка технології SRS		
Підтримка технології VMAT		
Підтримка технології протонної терапії		
Підтримка технології брахітерапії		
.....		

3.4.5. Визначити засоби технічного захисту та інформаційної безпеки, які гарантують привильність роботи ІУС.

3.4.6. Виявити можливості подальшого удосконалення систем управління комплексами ПТ у зв'язку зі змінами технологій управління потоками клінічної інформації.

### 3.5 Зміст звіту

Звіт має містити:

- мету роботи;
- стислі відомості про застосоване апаратне та програмне забезпечення, опис роботи персоналу при обслуговуванні ІУС;
- структурну схему структури апаратного та програмного забезпечення комп'ютерно-комунікаційної системи відділення променевої терапії;
- порівняльну таблицю (табл. 4.1);
- опис засобів технічного захисту та інформаційної безпеки ІУС ПТ;
- висновки.

### 3.6 Контрольні запитання і завдання

1. Дайте визначення ІУС щодо її застосування у променевій терапії.
2. Які основні завдання вирішують онкологічні ІУС?
3. Які інші спеціалізовані інформаційні системи застосовуються спільно з ІУС відділення променевої терапії?
4. Як за допомогою ІУС здійснюється керування апаратними засобами комплексу ДПТ?
5. Які характеристики та групи даних мають вноситись до ІУС у процесі запуску та роботи комплексу ДПТ?
6. Чому необхідно застосовувати засоби захисту ІУС ПТ?
7. Які Ви можете запропонувати додаткові опції ІУС ПТ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### «Вивчення технології комп'ютерного планування дистанційної променевої терапії»

#### 4.1 Мета роботи

Ознайомлення з комп'ютерною системою планування тривимірної дистанційної променевої терапії.

#### 4.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів

При підготовці до ЛР необхідно опрацювати теоретичний матеріал щодо принципів топометричного та дозиметричного планування дистанційної променевої терапії на базі лінійного прискорювача електронів [1, 4, 7]. При цьому слід проаналізувати дані про сучасні методи візуалізації та ідентифікації пухлинних осередків, фізичні закономірності формування полів опромінення, технічні параметри радіотерапевтичних установок, методи та алгоритми визначення кількісних характеристик лікувального впливу (геометрія, час, доза).

#### 4.3 Опис системи планування променевої терапії

Системи планування променевого лікування (СП ПТ) – це спеціалізовані комп'ютерні системи фізико-математичного моделювання процесу ПТ, які вирішують задачу визначення оптимального варіанту опромінення, що забезпечує підведення максимальної дози до пухлини при мінімальному променевому ушкодженні здорових тканин. При цьому найкращий результат досягається за умови забезпечення подібності форми пухлини та пучка (конформності) і точного просторового суміщення поля опромінення з пухлиною. Нині, з появою технологій об'ємної візуалізації, насамперед, рентгенівської комп'ютерної томографії, можна реалізувати технологію 3D-конформної ДПТ.

Початковим етапом ПТ є визначення лікарем-радіологом плану лікування. На основі аналізу наданої клініко-



діагностичної інформації він обирає тактику та технологію лікування, зважаючи на радіобіологічні особливості та клінічні наслідки радіотерапії для кожного конкретного пацієнта.

Далі проводяться додаткові дослідження (рис.4.1), метою яких є отримання зображень пацієнта в тих умовах, які необхідні для передпроменевої підготовки та проведення



лікування (спеціальні укладки, іммобілізація тощо). Для цього застосовуються спеціальні апарати – рентгенівські стимулятори, на яких можна відпрацювати позиції системи ДПТ, обрати «терапевтичне» положення пацієнта та маркувати позицію мішені.

Наступний етап планування (просторове моделювання та визначення розподілу доз) здійснюється із застосуванням системи віртуальної симуляції та дозного планування. Для цього проводиться аналіз зображень певної модальності (основні - КТ, МРТ, додаткові - УЗД, ПЕТ) з позиціонуванням пацієнта як для ПТ. Ці зображення дозволяють визначити макроскопічний об'єм пухлини (GTV), на основі якого встановлюються:

- клінічний об'єм мішені (CTV);
- планований об'єм мішені (PTV);
- об'єм мішені, що підлягає лікуванню (*treated volume*);

Рисунок 4.1 – Схема процесу передпроменевої підготовки

- опромінюваний об'єм мішені (*irradiated volume*) (рис.4.2). Визначаються також межі критичних органів, променево навантаження на які в процесі ПТ має бути мінімальним.

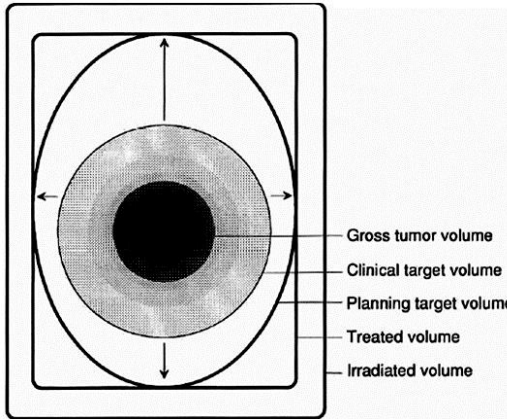


Рисунок 4.2 –  
Співвідношення  
об'ємів  
пухлини  
та мішені  
для  
опромінення [7]

**Визначення контуру пухлини** – це досить складна задача, яка пов'язана із суб'єктивним зоровим аналізом зображень, результат якого може спричинити помилки при розрахунку GTV. Нині широко застосовуються засоби програмного аналізу томографічних зображень у заданому діапазоні чисел Хаунсфілда з використанням сегментації та морфологічних перетворень, метою яких є автоматична побудова контуру GTV. З клінічних міркувань цей контур може бути скоригований, в цьому разі застосовуються спеціальні інтерактивні інструменти графічного редагування.

У сучасних СП ПТ удосконалено процес оконтурювання анатомічних структур за рахунок автоматичного суміщення томографічних зображень різної модальності (КТ+МРТ, КТ+ПЕТ) з подальшою обробкою поєднаного зображення. Інша технологія, направлена на підвищення точності оконтурювання структур – це автосегментація, яка базується на застосуванні зображень кількох анатомічних атласів. Програмне забезпечення автоматично адаптує наперед визначені за анатомічним атласом обриси органів до обрисів органів

конкретного пацієнта. Нині всі ці операції технологічно здійснюються шляхом комп'ютерної обробки серії томографічних зображень.

Основною графічною опцією системи 3D-планування є **генерація та візуалізація анатомічної 3D-моделі пацієнта** у заданій системі координат (*volume rendering*) (рис.4.3). Слід зазначити, що ця система координат має однозначно фіксувати просторове розташування пацієнта та однаково відтворюватись при томографії, комп'ютерному моделюванні, симуляції та ПТ. Система буде об'ємну модель тіла пацієнта шляхом опрацювання масиву зображень томографічних зрізів, на кожному з яких має бути віднайдений і контур пухлини. Модель пацієнта містить реконструйовані об'ємні зображення анатомічних структур, пухлини та критичних органів (рис. 4.3). Поверхні цих об'єктів будуються напівпрозорими, за потреби їх позначають кольором. Модель тіла можна аналізувати у будь-якому зручному ракурсі, застосовуючи інтерактивне 3D-маніпулювання (поворот, масштабування).

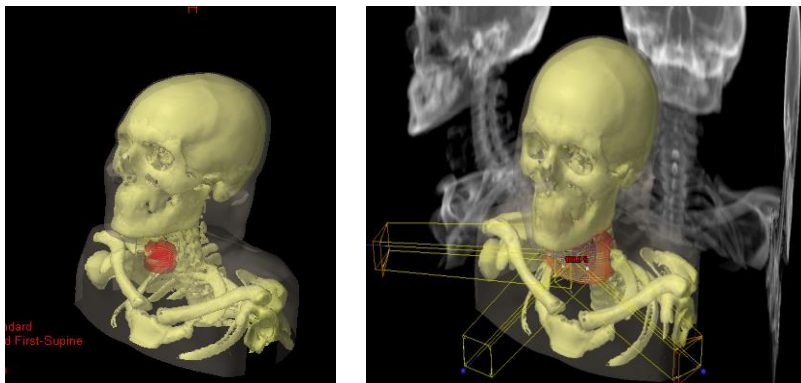


Рисунок 4.3 – Воксельна КТ-анатомічна модель та синтез додаткових КТ-анатомічних проєкцій у системі Eclipse™

Слід відзначити, що всі сучасні системи планування радіотерапії (Eclipse™/Helios, Theraplan PLUS, Panther 3D, Pinnacle<sup>3</sup>, XiO<sup>®</sup>, Oncentra<sup>®</sup> та ін.) повністю підтримують

тривимірну (3D) геометрію як при відтворенні будови тіла пацієнта, так і при побудові дозних полів. Це стало можливим завдяки впровадженню технології реконструктивної обчислювальної томографії.

СП ПТ потребує внесення даних про **модальність лікувального впливу** (фотонна, електронна, протонна терапія), відповідно до якої визначається закон формування просторового розподілу дози в терапевтичному пучку (рис. 4.4).

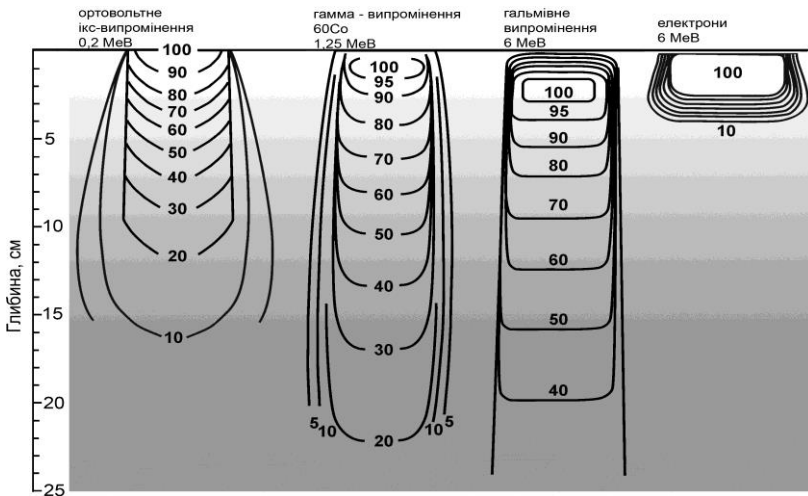


Рисунок 4.4 – Карти глибинного розподілу ізодоз фотонних та електронного терапевтичних пучків у воді

Сучасні технології ДПТ передбачають застосування фотонних та електронних пучків в одному плані. Кількість активних пучків не обмежується, до того ж ці пучки можуть бути статичними або ротаційними. Кожне конкретне джерело випромінювання має власні дозиметричні характеристики полів опромінення, подібні до зображених на рис. 4.4.

Дозиметричні дані про кожне джерело опромінення отримуються експериментально та записуються до СП ПТ, після чого нею здійснюється побудова програмної моделі джерела

випромінення. Застосування індивідуальних засобів формування пучка (коліматорів, болюсів, блоків, клинів) дозволяє сформувати поля опромінення змінної інтенсивності. Кожен з цих засобів має відповідну комп'ютерну модель, яка застосовується при розрахунку конфігурації дозного поля.

Параметри полів опромінення апарату ДПТ вимірюють за допомогою автоматизованого дозиметричного комплексу, який містить водний фантом, іонізаційні камери тощо (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Вимірювальний комплекс для дослідження дозиметричних характеристик лінійного прискорювача електронів Clinac 600C

Враховуючи дані медичних зображень, а також дані про апаратну конфігурацію апарату ДПТ, наявність індивідуальних засобів формування пучка та режим опромінення, СП ПТ обчислює настройки апарату для кожного поля опромінення, які зберігаються у комп'ютерній системі та застосовуються протягом лікувального циклу (рис. 4.5).



Результати розрахунків дозних полів надаються у вигляді ізодозних кривих, нанесених на 3D-поверхні моделі пацієнта (рис. 4.6). Форма ізодозних кривих узгоджується із формою обраного засобу формування пучка.

Для кожного плану будується гістограма «доза-об'єм» (*Dose Volume Histogram – DVH*), яка відображає графік розподілу дози в опромінюваному об'ємі та застосовується для оптимізації планування ПТ. Ідеальна діаграма DVH для мішені має наближатись до прямокутної форми з різким спадом дози на межі пухлини (рис. 4.7). Найкращим варіантом плану ПТ визнається той, в якому різниця між гістограмами DVH для мішені та для органів ризику є найбільшою.

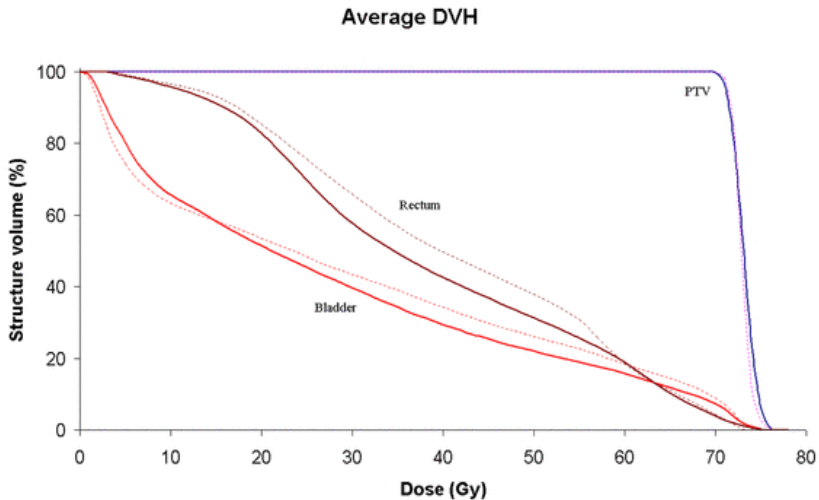


Рисунок 4.7 – Гістограма DVH для ПТ передміхурової залози, (органи ризику – пряма кишка та сечовий міхур)

Перед проведенням ПТ здійснюється портальна верифікація плану: перевіряється правильність відтворення реальних умов опромінювання (укладка та іммобілізація пацієнта, параметри дозних полів), обраних за планом.

## 4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Ознайомитись з описом та технологічними можливостями комп'ютерної системи планування променевої терапії Eclipse™.

4.4.2. Визначити основні опції програми, розглянути побудову інтерфейса.

4.4.3. Проаналізувати результати створеного комп'ютерного плану ДПТ, користуючись їх графічним представленням.

4.4.4. Визначити, які додаткові засоби формування дозного поля були застосовані у даному плані.

4.4.5. Провести порівняння можливостей двох найбільш широко застосовуваних СП ПТ:

- Eclipse™ (для комплексів ПТ Varian),

[http://www.varian.com/euru/oncology/radiation\\_oncology/eclipse/](http://www.varian.com/euru/oncology/radiation_oncology/eclipse/)

- XiO® (для комплексів ПТ Elekta),

<http://www.elekta.com/healthcare-professionals/products/elekta-software/treatment-planning-software/planning-software.html>

Таблиця 4.1 – Технічні можливості систем планування ПТ

Перелік опцій	Eclipse™	XiO®	Theraplan PLUS	Інша СП ПТ
Модальності зображень:				
КТ				
МРТ				
ПЕТ				
Підтримка технологій ПТ:				
3D CRT				
IMRT				
IGRT				
SRS				
.....				
.....				



#### 4.5 Зміст звіту

Звіт має містити:

- мету роботи;
- опис застосованої системи планування ПТ;
- ескізи вікон графічного інтерфейсу та опис основних програмних опцій СП ПТ;
- порівняльну таблицю (табл. 4.1);
- висновки.

#### 4.6 Контрольні запитання і завдання

1. У чому полягає суть планування ПТ та як застосовуються комп'ютерні технології у цьому процесі?
2. Назвіть основні стадії передпроменевої підготовки та обладнання, яке застосовується на кожній стадії.
3. Які початкові дані вносяться до СП ПТ?
4. Які медичні зображення застосовуються в процесі планування тривимірної конформної променевої терапії?
5. Як визначаються дозиметричні характеристики терапевтичного пучка?
6. Що таке гістограма DVH та як вона застосовується в процесі оптимізації планування ПТ?

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В.П. Старенький, Л.О. Авер'янова. Методи та засоби радіаційної медицини. Ч.1. Апарати дистанційної променевої терапії. Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.05140201 «Біомедична інженерія» – Харків, ХНУРЕ, 2014. – 132 с.
2. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. – К.: МОЗ України, 1997. – 121 с.
3. Крутилина Н.И. Общие принципы и методы лучевой терапии злокачественных опухолей. – Минск: БелМАПО, 2008. – 36 с.
4. Radiation oncology physics / Editor E. B. Podgorsak. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
5. IEC 60976:2011 Medical electrical equipment - Medical electron accelerators - Functional performance characteristics.
6. Oncology Systems Network Configuration Guide. – Varian Medical Systems. – 2007.
7. International Commission on Radiation Units and Measurements: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (ICRU Report 50, 62). – Bethesda, MD, International Commission on Radiation Units and Measurements, 1993 and 1999.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІН  
«МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РАДІАЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ»  
для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності  
8.05140201 – біомедична інженерія

Упорядники: СТАРЕНЬКИЙ Віктор Петрович  
АВЕР'ЯНОВА Лілія Олександрівна  
ВАСИЛЬСВ Леонід Леонідович

Відповідальний випусковий А.І.Бих

Авторська редакція

