

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)

Кафедра біомедичної інженерії  
(повна назва)

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Система контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи БМІм-18-1  
Костіна А. В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 163-Біомедична інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма біомедична інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Лінник О. В.

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Аврунін О. Г.

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)  
Кафедра біомедичної інженерії  
(повна назва)  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 163 Біомедична інженерія  
(код і повна назва)  
Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма біомедична інженерія  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 року.

**ЗАВДАННЯ**  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Костиній Анастасії Вячеславівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система контролю параметрів рентгенівських  
діагностичних комплексів

затверджена наказом по університету від «28 жовтня 2019 року № 1554 Ст»

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

3.1 Дозоформуючі параметри рентгенівських діагностичних комплексів.

3.2 Електро-технічні параметри рентгенівських діагностичних

комплексів.

3.3 Операційна система Windows 7.

3.4 Програмний пакет Matlab.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Медико-технічне обґрунтування.

4.2 Аналітичний огляд методів і засобів контролю параметрів  
рентгенівських діагностичних комплексів.

4.3 Розробка структурної схеми системи контролю параметрів  
рентгенівських діагностичних комплексів.

4.4 Розробка модуля аналізу параметрів рентгенівських діагностичних  
комплексів.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

5.1 Медико-технічне обґрунтування (плакат, арк. А4).

5.2 Система контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Схема структурна. (кресл., арк. А4).

5.3 Модуль аналізу дозоформуєчих параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Схема програми. (кресл., арк. А4).

5.4 Модуль аналізу електро-технічних параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Схема програми. (кресл., арк. А4).

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спеціальна частина	доц. Лінник О. В.		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд та аналіз літературних джерел	01.10 – 08.10	
2.	Медико-технічне обґрунтування	09.10. – 17.10	
3.	Аналітичний огляд методів і засобів контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів	18.10 – 30.10	
4.	Розробка структурної схеми системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів	31.10 – 08.11	
5.	Розробка методів контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів	09.11 – 18.11	
6.	Розробка модулів аналізу параметрів рентгенівських діагностичних комплексів	19.11 – 25.11	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.11 – 07.12	
8.	Рецензування	01.12 – 08.12	
9.	Підготовка до захисту	27.11 – 10.12	

Дата видачі завдання 01.10.2019 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Лінник О. В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 79 стор., 27 рис., 4 табл., 9 додатків, 29 джерел.

ВИПРОБУВАННЯ КОНТРОЛЬНЕ, ВИПРОБУВАННЯ ПРИМАЛЬНО-ЗДАВАЛЬНЕ, ВИПРОМІНЮВАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКЕ, ДОЗИМЕТР, КОМПЛЕКС РЕНТГЕНІВСЬКИЙ ДІАГНОСТИЧНИЙ, ПАРАМЕТР ДОЗОФОРМУЮЧИЙ, ПАРАМЕТР ЕЛЕКТРО-ТЕХНІЧНИЙ.

Об'єкт дослідження – процес контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.

Предмет дослідження – програмні модулі аналізу дозоформуючих та електро-технічних параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.

Мета роботи – розробка системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.

Методи дослідження – системний аналіз, дозиметричні вимірювання, електро-технічні вимірювання.

В роботі запропоновані методи визначення параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Спроектована структурна схема системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Розроблені програмні модулі аналізу параметрів рентгенівських діагностичних комплексів. Розроблена система дозволить автоматизувати роботу оператора та може бути використана виробниками рентгенівських діагностичних комплексів при приймально-здавальних випробуваннях для виявлення комплектуючих частин обладнання, які потребують корекції.

## ABSTRACT

Explanatory note of attestation work: 79 pages, 27 pics, 4 tables, 9 applications, 29 sources.

ACCEPTANCE TEST, DOSFORMING PARAMETER, DOSIMETER, ELECTRO-TECHNICAL PARAMETER, TEST CONTROL, X-RAY DIAGNOSTIC COMPLEX, X-RAY RADIATION.

The object of study – is the process of monitoring the x-ray diagnostic complexes parameters.

The subject of the study – software modules for analysis of doseforming and electro-technical parameters in x-ray diagnostic complexes;

The purpose of the work – is the development of a control system for the parameters of x-ray diagnostic complexes.

The method – system analysis, dosimetric measurements, electro-technical measurements.

Existing methods for determining the x-ray diagnostic complexes parameters are proposed. Designed block diagram of the control system x-ray diagnostic complexes parameters are designed. Software modules for analyzing the x-ray diagnostic complexes parameters are developed. The developed system will allow automating the operator's work and can be used by manufacturers of x-ray diagnostic complexes for acceptance tests to identify component parts of equipment that need correction.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 МЕДИКО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	9
1.1 Властивості рентгенівського випромінювання.....	10
1.2 Генерація рентгенівського випромінювання.....	12
1.3 Взаємодія рентгенівського випромінювання з біологічними тканинами.....	13
1.4 Методи рентгенологічного дослідження.....	17
1.5 Особливості застосування рентгенологічних методів.....	20
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	22
2.1 Аналіз сучасних рентгенівських діагностичних комплексів.....	22
2.2 Методи визначення дозоформуючих параметрів.....	27
2.3 Методи визначення електро-технічних параметрів.....	36
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	44
3.1 Структурна схема універсального рентгенівського апарату.....	44
3.2 Схема взаємодії основних модулів системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.....	47
4 РОЗРОБКА МОДУЛЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	51
4.1 Метод контролю дозоформуючих параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.....	51
4.2 Метод контролю електро-технічних параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.....	55
4.3 Розробка модулів аналізу параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.....	56
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	61
ДОДАТКИ.....	64

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

КРД – комплекс рентгенівський діагностичний;

РДК – рентгенівський діагностичний комплекс;

МР-1 – міра рентгенівська-1;

ПЗВ – приймально-здавальні випробування;

ТУ – технічні умови;

ОГК – органи грудної клітини;

ПК – персональний комп'ютер.

## ВСТУП

В даний час в медицині рентгенологічний метод продовжує займати провідне місце при ранньому виявленні та діагностиці різних захворювань. Згідно з медичною статистикою, до 70% усіх медичних діагнозів ставляться на підставі рентгенівських методів діагностики.

Фізична задача рентгенологічного методу – візуалізація внутрішніх органів за допомогою спрямованого на об'єкт дослідження рентгенівського випромінювання, що володіє високою проникаючою здатністю, з подальшою реєстрацією його після виходу з об'єкта будь-яким приймачем рентгенівських променів, за допомогою якого безпосередньо чи опосередковано виходить тіньове зображення досліджуваного органу.

Метою даної роботи є розробка системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів.

Для досягнення вказаної мети дослідження визначені наступні завдання:

- розглянути методи визначення дозоформуєчих параметрів;
- розглянути методи визначення електро-технічних параметрів;
- розробити структурну схему системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів;
- розробити модуль аналізу дозоформуєчих параметрів;
- розробити модуль аналізу електро-технічних параметрів.

Застосування рентгенівського випромінювання виправдало свою значимість при своєчасній діагностиці туберкульозу, онкологічних пухлин легеневої тканини та обстеженні стану кісток, хребта, легенів, серця, молочних залоз, кровоносних судин, діафрагми.

Заперечувати користь рентгенівських променів в даних обставинах немає сенсу.

Однак, існує ще й інший бік, коли таке корисне рентгенівське випромінювання все ж таки може завдати шкоди здоров'ю людини. Основний фактор такої шкоди це те, що рентгенівські промені опромінюють людський організм.

Отже, необхідно проводити аналіз і строго контролювати дозоформуєчі та електро-технічні параметри РДК.

Тому аналіз дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК є актуальним завданням, вирішувати яке доцільно із застосуванням сучасних інформаційних технологій.

.

## 1 МЕДИКО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Рентгенологічний метод дослідження займає провідне місце при ранньому виявленні та діагностиці різних захворювань. За допомогою цього методу дослідження виявляється понад 60% патологічних змін в організмі людини. Серед всіх рентгенологічних досліджень найчастіше застосовується саме рентгенографія ОГК. [1].

Рентгенографія ОГК допомагає діагностувати наявність туберкульозу та онкологічних пухлин легеневої тканини, обстежити стан кісток, хребта, легенів, серця, молочних залоз, кровоносних судин, діафрагми, а також побачити запальні процеси, присутність новоутворень та сторонніх тіл. [2].

Рентгенівські промені – це вид електромагнітного випромінювання, яке виникає від різкого гальмування руху швидких електронів у речовині. Довжина хвилі цих променів змінюється в межах  $0,01 \div 10$  нм. [4].

Володіючи всіма властивостями електромагнітних коливань: поширення зі швидкістю світла (300000 км/сек), прямолінійність поширення, інтерференція і дифракція, люмінесцентні і фотохімічні дії, рентгенівське випромінювання має і відмінні властивості, які і зумовили застосування їх в медичній практиці. [3].

Принцип рентгенологічного дослідження полягає в візуалізації внутрішніх органів за допомогою спрямованих на об'єкт дослідження рентгенівських променів (рис.1.1), які володіють високою проникаючою здатністю, з подальшою реєстрацією рентгенівського випромінювання після виходу з об'єкта будь-яким приймачем рентгенівських променів, за допомогою якого безпосередньо виходить тіньове зображення досліджуваного органу. [3].

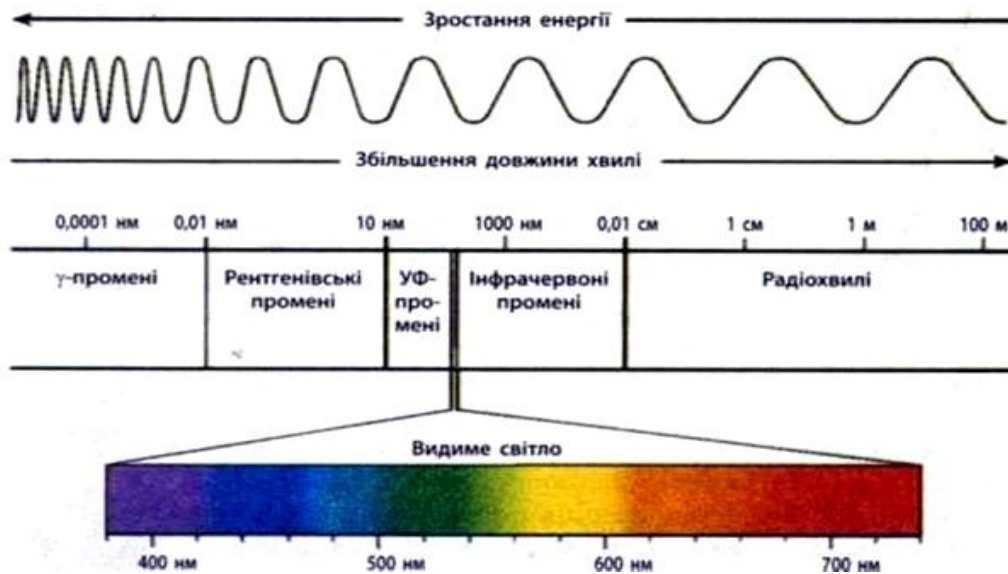


Рисунок 1.1– Спектр електромагнітних хвиль

### 1.1 Властивості рентгенівського випромінювання

Властивості рентгенівського випромінювання:

- рентгенівське випромінювання наділене величезною проникаючою здатністю та залежить від довжини хвилі (жорсткості), атомного складу, питомої ваги, щільності матеріалу який опромінюється та товщини досліджуваного об'єкта;
- під впливом випромінювання деякі предмети починають світитися (ці речовини називаються люмінофорами і вони використовуються при проведенні рентгеноскопії і флюорографії);
- поглинання і розсіювання;
- прямолінійність поширення – рентгенівське зображення завжди точно повторює форму досліджуваного об'єкта;
- фотохімічна дія – як і видиме світло рентгенівські промені, потрапляючи на фотографічну емульсію, здатні впливати на неї, викликаючи хімічну реакцію відновлення срібла;

- іонізація речовин – здатність викликати розпад нейтральних атомів на позитивні і негативні іони;
  - завдяки рентгенівським променям починають протікати деякі біохімічні реакції, це пов'язано з іонізуючою дією рентгенівських променів на тканини організму, та цим визначається небажаний негативний вплив на пацієнта, лікаря-рентгенолога та рентгенлаборанта;
  - несприйнятливність органами почуттів – в цьому полягає прихована небезпека, оскільки людина не відчуває моменту впливу рентгенівського випромінювання (як і будь-якого іншого випромінювання).
- [5].

Сучасний універсальний рентгенівський апарат (рис.1.2) містить:

- 1) випромінювач з рентгенівською трубкою;
- 2) штативний пристрій, детектор зображення (касета/приймальний пристрій);
- 3) пристрій живлення (блок живлення/генератор);
- 4) діафрагму (коліматор);
- 5) блок управління (пульт керування);
- 6) систему позиціонування, охолодження, екстреного відключення.

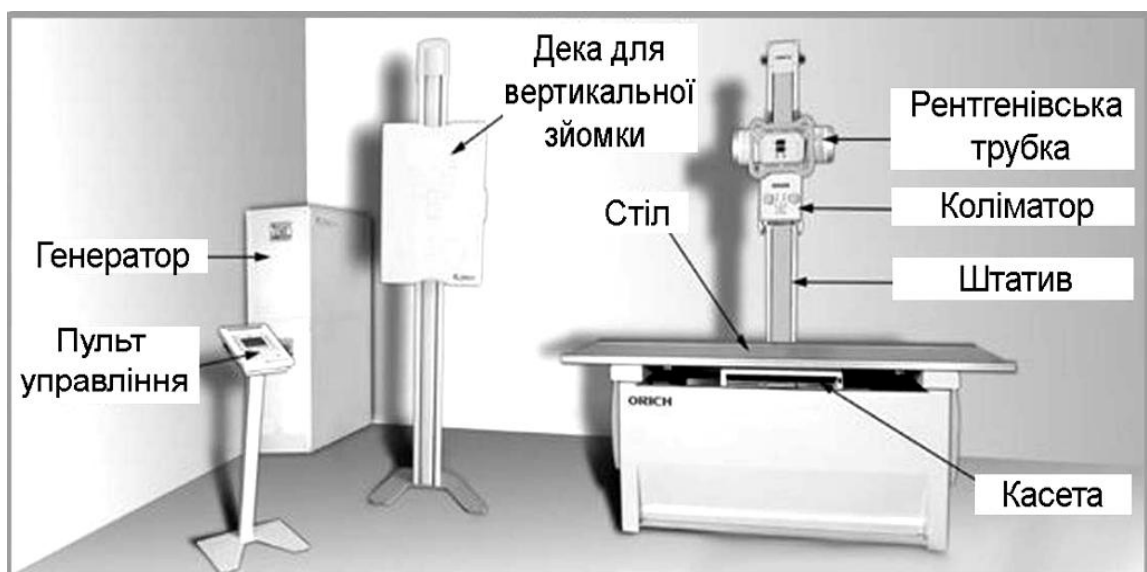


Рисунок 1.2 – Сучасний універсальний рентгенівський апарат

## 1.2 Генерація рентгенівського випромінювання

Для генерації рентгенівського випромінювання використовують спеціальні електровакуумні прилади – рентгенівські трубки. Рентгенівська трубка є скляним вакуумним балоном, в якому вбудовані два електроди: катод у вигляді вольфрамової спіралі і анод у вигляді диска (мішені). Катод при роботі трубки обертається зі швидкістю 3000 обертів/хвил.. На катод подається напруга до 15 В, при цьому спіраль нагрівається і відбувається емісія електронів, які обертаються навколо неї утворюючи хмару електронів. Потім подається напруга на обидва електрода (від 40 до 120 кВ), ланцюг замикається, створюється потужне прискорююче електричне поле, під дією якого вивільнені електрони рухаються від катода до анода, бомбардуючи його зі швидкістю до 30000 км/сек. [3]. За таких швидкостей співударення електронів з активною поверхнею аноду (мішенню) призводить до їх різкого гальмування та втрати енергії, внаслідок чого з поверхні мішені випромінюються рентгенівські промені. При гальмуванні електронів лише 1-1,5% енергії електронів перетворюється в енергію рентгенівських квантів (фотонів), решта ж 98,5-99% переходить в енергію інфрачервоних теплових променів, призводячи до розігріву анода до 2000° С. [4].

Найчастіше у медичних рентгенівських трубках як матеріал мішені застосовується вольфрам (табл.1.1), який забезпечує більшу ефективність перетворення енергії електронів у енергію рентгенівських фотонів та витримує значні термічні навантаження.

Таблиця 1.1 – Фізичні параметри матеріалів мішені

Матеріал мішені	Атомний номер, $Z$	Температура плавлення, °С	Лінії характеристичного спектру при анодній напрузі, кВ		
			$K_{\alpha 1}$	$K_{\alpha 2}$	$K_{\beta 1}$
Вольфрам	74	3422	59,32	57,98	67,24

Продовження таблиці 1.1

Матеріал мішені	Атомний номер, $Z$	Температура плавлення, °C	Лінії характеристичного спектру при анодній напрузі, кВ		
			$K_{\alpha 1}$	$K_{\alpha 2}$	$K_{\beta 1}$
Родій	45	1963	20,22	20,07	22,72
Молибден	42	2623	17,48	17,37	19,61

### 1.3 Взаємодія рентгенівського випромінювання з біологічними тканинами

При взаємодії рентгенівського випромінювання з біологічними тканинами слід врахувати їх особливий хімічний склад, який є відносно сталим. В найбільшій кількості (до 98%) у складі клітин організму наявні чотири легкі хімічні елементи: кисень ( $Z=8$ ,  $A=16$ ), вуглець ( $Z=6$ ,  $A=12$ ), водень ( $Z=1$ ,  $A=1$ ) та азот ( $Z=7$ ,  $A=14$ ). Більш «важкі» речовини відносяться до мікроелементів через незначну присутність в організмі.

Якщо проаналізувати залежність коефіцієнта ослаблення рентгенівського випромінювання від атомного номера речовини-поглинача (табл., то стає зрозумілим, що саме цей чинник надалі визначатиме різницю в природному контрасті тканин, завдяки якому вони розрізняються на рентгенограмах. [4].

У діапазоні енергій 10-40 кеВ ступінь поглинання рентгенівського випромінювання різними тканинами має суттєві відмінності, що забезпечує їх розрізнення на рентгенівському зображенні, це представлено на рисунку 1.3.

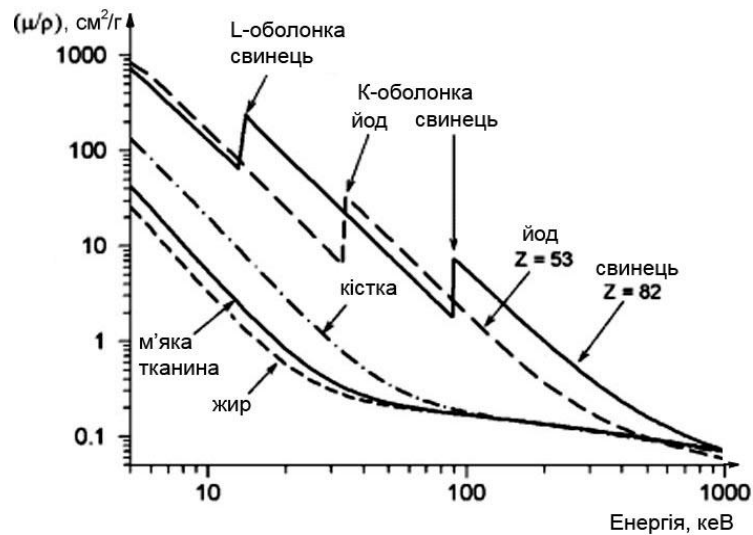


Рисунок 1.3 – Залежність масового коефіцієнта ослаблення  $\mu/\rho$  від енергії рентгенівських променів

Проте за енергії понад 50 кеВ жирова та м'які тканини однаково ослаблюють рентгенівські промені, а за енергії понад 100 кеВ всі біотканини втрачають природний рентгенівський контраст і вже не розрізняються між собою на рентгенограмах. [4].

Як вже було сказано, проникаюча здатність рентгенівських променів визначається перш за все, енергією квантів або довжиною хвилі (жорстке і м'яке випромінювання). Ступінь поглинання рентгенівських променів тканинами різна і залежить від показників щільності і атомної ваги елементів, що складають об'єкт. Чим більше щільність і атомна вага речовини, з якої складається досліджуваний об'єкт (орган), тим більше поглинаються (затримуються) рентгенівські промені. У тілі людини є органи і тканини різної щільності, такі як кістки, м'які тканини, легені та інші, що і пояснює різне поглинання рентгенівських променів. Крім того, ступінь поглинання променів також визначається обсягом (товщиною) органу, тобто прохідною відстанню рентгенівських променів в тканинах. [6].

Так, кісткові тканини менш прозорі для рентгенівського випромінювання, ніж тканини, з яких складається шкіра і внутрішні органи.

Тому на рентгенограмі кістки позначаються, як більш світлі ділянки і прозоріше для випромінювання місце перелому може бути досить легко виявлено. [7].

Рентгенівське випромінювання є іонізуючим. Воно впливає на тканини живого організму і за певних умов, може спричинити променеву хворобу, променеві опіки та утворення злоякісних пухлин. Унаслідок цього при роботі з рентгенівським випромінюванням необхідно дотримуватися заходів з радіаційного захисту як пацієнтів, так і персоналу, який обслуговує рентгенівське обладнання. Рентгенівське випромінювання є мутагенним чинником, адже спричинена ним іонізація атомів викликає зміни хімічної структури речовин та утворення нових зв'язків. Це призводить до того, що клітини різних тканин і хімічні речовини, які ними виробляються, зазнають руйнування або генетичної мутації. [8].

Дуже ефективним поглиначем рентгенівського випромінювання є свинець, тому його застосовують як протирадіаційний екран у випромінювачах, а також у засобах захисту пацієнтів і персоналу (фартухи) від зайвого опромінення при проведенні рентгенівських досліджень.

Важливим фізичним чинником, який безпосередньо впливає на ступінь біологічного ушкодження тканин, є доза випромінювання. [4].

У медичній радіології застосовують різні визначення цієї величини (табл.1.2-1.3).

Таблиця 1.2 – Основні радіаційні величини

Фізична величина	Визначення	Одиниця вимірювання СІ
Поглинена доза	$D = E_R / m$	Грей (Gy, Гр), ( Дж/ кг)
Потужність поглиненої дози	$P_D = D / t$	Грей за сек. (Gy/s, Гр/с)
Еквівалентна доза	$H = D \cdot W_R$	Зіверт (Sv, Зв)
Потужність еквівалентної дози	$P_H = H / t$	Зіверт за сек. (Sv/s, Зв/с)
Ефективна доза	$E = H \cdot W_T$	Зіверт (Sv, Зв)
Експозиційна доза	$X = dQ / dm$	Кулон на кг (C/kg, Кл/кг)

Поглинена доза  $D$  – це енергія іонізуючого випромінювання, поглинена опроміненим тілом (тканинами організму), в перерахунку на одиницю маси. Поглинена доза характеризує міру дії іонізуючого випромінювання на середовище.

Еквівалентна доза  $H$  – це поглинена доза, помножена на радіаційний зважуючий фактор (коефіцієнт якості випромінювання -  $W_R$ ), що враховує здатність конкретного виду іонізуючого випромінювання пошкоджувати тканини організму. Для рентгенівського випромінювання  $W_R=1$ .

Ефективна доза  $E$  – це еквівалентна доза, помножена на коефіцієнт, що враховує різну чутливість різних тканин до опромінення ( $W_T$  - тканинний зважуючий фактор, (табл.1.3)). Ефективна доза від різних рентгенодіагностичних процедур значно відрізняється: від 0,02 мЗв при рентгенографії грудної клітки до 10 мЗв при абдомінальній рентгенівській комп'ютерній томографії та 16 мЗв при коронарній ангіографії.

Експозиційна доза  $X$  використовується як кількісна міра дії рентгенівського і гамма-випромінювання на навколишнє середовище. Вона визначається зарядом вторинних частинок  $dQ$ , утворених в масі речовини  $dm$ .

Таблиця 1.3 – Значення тканинних зважуючих факторів  $W_T$

Тканина або орган	$W_T$
Статеві залози	0,08
Червоний кістковий мозок, товста кишка, легені, шлунок, молочна залоза	0,12
Сечовий міхур, печінка, стравохід, щитоподібна залоза	0,04
Шкіра, поверхня кістки, слинні залози, мозок	0,01
Інші органи	0,12
Все тіло	1,00

Найбільш чутливими до іонізуючого випромінювання є клітини кісткового мозку, що виробляють форменні елементи крові, клітини слизової оболонки кишечника і кришталика ока, статеві клітини, це так звані – “критичні органи”. При рентгенологічному дослідженні, опромінення організму проходить у незначних дозах. Проте оскільки існують тканини з високочутливими клітинами, для пошкодження яких достатньо невеликих доз, необхідно забезпечити захист критичних органів. [4].

#### 1.4 Методи рентгенологічного дослідження

Серед методів рентгенологічного дослідження (рис.1.4) виділяють основні (загальні) і спеціальні (допоміжні).

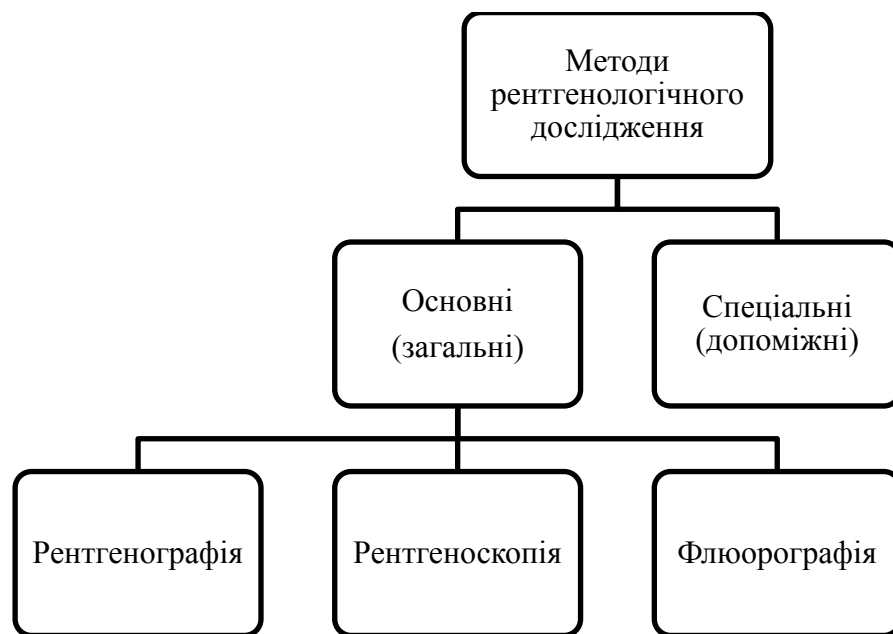


Рисунок 1.4 – Методи рентгенологічного дослідження

Рентгенографія – це дослідження внутрішньої структури об'єктів, яка проектується за допомогою рентгенівських променів на плівку або на приймальний пристрій. [9].

Флюорографія проводиться таким же чином, тільки призначена переважно для дослідження ОГК. Рентгенографія застосовується при діагностиці: легень і середостіння, хребта, різних відділів периферичного скелета, черевної порожнини. [10].

Отримання зображення засноване на ослабленні рентгенівського випромінювання при його проходженні через різні тканини з подальшою його реєстрацією на плівці, або на приймальному пристрої.

На рис.1.5 наведено переваги та недоліки рентгенографії.



Рисунок 1.5 – Переваги та недоліки рентгенографії

Рентгеноскопія – це метод рентгенологічного дослідження, при якому зображення об'єкта одержують на флуоресцентному екрані, або на приймальному пристрої. [11].

При цьому дослідженні пучок рентгенівських променів, що генерується рентгенівською трубкою, проходить через тіло пацієнта, потрапляє на флуоресцентний екран і формує на ньому позитивне тіньове зображення, або потрапляє на приймальний пристрій і зображення можна отримати в цифровому вигляді.

На рис.1.6 наведено переваги та недоліки рентгеноскопії.

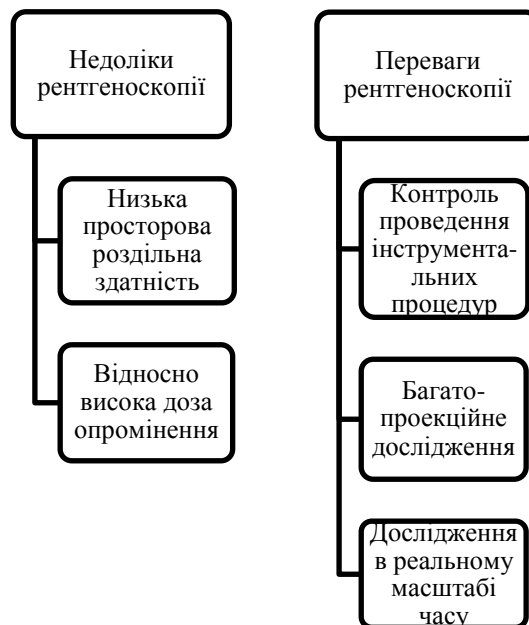


Рисунок 1.6 – Переваги та недоліки рентгеноскопії

До спеціальних (допоміжних) рентгенологічних методів дослідження відносяться однотипні за своїм призначенням групи:

- методи штучного контрастування (пряме і непряме контрастування);
- методи, що регулюють розміри одержуваного зображення (телерентгенографія і пряме збільшення рентгенівського зображення);

- методи просторового дослідження (лінійна і комп'ютерна томографія, панорамна томографія, панорамна зонографія);
- методи реєстрації рухів. [12].

### 1.5 Особливості застосування рентгенологічних методів

Рентгенівські промені здатні викликати опіки на шкірному покриві, дуже схожі на термічні. Якщо зменшити час і дозу опромінення, то опіків можна уникнути. Тому при рентгенологічному дослідженні, застосовуються свинцеві екрани і дистанційний метод опромінення пацієнтів. Довгострокова перспектива шкідливості променів показує, що зміни складу крові після опромінення призводять до лейкемії і раннього старіння. Ступінь тяжкості впливу рентгенівських променів на організм людини прямо залежить від опромінювання органу. Так, при рентгенографії малого таза може наступити безплідність, а при діагностиці кровотворних органів, хвороба крові. Навіть самі незначні опромінення, але протягом довгого часу, можуть призвести до змін на генетичному рівні (рис.1.7).

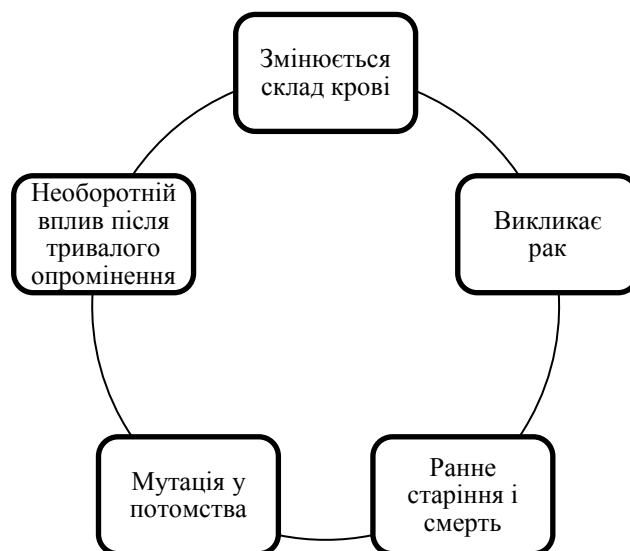


Рисунок 1.7 – Наслідки для здоров'я людини при незначній дозі опромінення, які проявляються через деякий проміжок часу

Таким чином, вплив рентгенівського випромінювання небезпечний для здоров'я людини. Однак, його широке застосування в медичних діагностичних процедурах виправдовується великою значимістю в проведенні обстежень для своєчасної діагностики захворювань. Заперечувати користь рентгенівських променів в даних обставинах немає сенсу.

За допомогою рентгенологічного дослідження можна не просто діагностувати захворювання, але, навіть з точністю визначити розміри тих ділянок організму, які воно вразило, стадії самого захворювання, і всю серйозність патологічних процесів і змін. Без рентгенологічного дослідження буває важко визначити, наскільки велика необхідність оперативного втручання в тому чи іншому випадку. До того ж, не обійтися без даного виду дослідження, коли мова йде про оперативні втручання в цілісність судин при серцево-судинних захворюваннях. Саме таким чином проводиться шунтування та стентування судин, що ведуть до серця. Всі ці властивості можна сміливо віднести до категорії користі рентгенівського випромінювання, як в медицині, так і в житті кожної хворої людини.

Однак, існує інший бік, коли таке корисне рентгенівське випромінювання все ж таки може завдати шкоди здоров'ю людини. Основний фактор такої шкоди – це те, що рентгенівські промені опромінюють людський організм, перевищення дозоформуєчих та електро-технічних параметрів під час рентгенологічного дослідження може призвести до переопромінення пацієнтів або персоналу.

Отже, необхідно проводити аналіз і строго контролювати дозоформуєчі та електро-технічні параметри РДК.

## 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

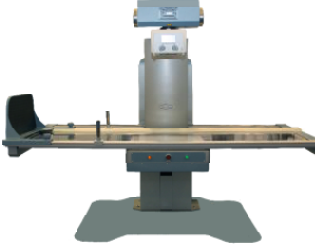



### 2.1 Аналіз сучасних рентгенівських діагностичних комплексів

В даному розділі проводився аналіз та порівняння сучасних вітчизняних та європейських РДК (табл.2.1) виробництва: України («Завод рентгенівського обладнання «Квант»»), Китаю (Праймед ВТ-ХR/XS), Нової Зеландії (IMAX), Італії (Opera). В ході аналізу були порівнені важливі характеристики РДК для проведення рентгенологічних досліджень: потужність пристрою живлення, розміри фокусних плям рентгенівської трубки, просторова розподільча здатність цифрового приймача, ціна і т.п.






Таблиця 2.1 – Порівняння сучасних вітчизняних та європейських РДК

Тип КРД	Зовнішній вигляд	Призначення	Важливі характеристики та ціна
КРД "INDIagrap-01" рентгенографічний (на 2 робочих місця)		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах травматологічного та загального профілю	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Кути нахилу поворотного штативу: <math>+90^{\circ}/-90^{\circ}</math>,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрового приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: від 50 кВт до 85 кВт,</li> <li>–Ціна: від 3000000 грн.</li> </ul>
РДК Opera RT20 (на 2 робочих місця)		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах травматологічного та загального профілю	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Кути нахилу поворотного штативу: <math>+90^{\circ}/-90^{\circ}</math>,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрового приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: 50 кВт,</li> <li>–Ціна: від 2700000 грн.</li> </ul>

Продовження таблиці 2.1

Тип КРД	Зовнішній вигляд	Призначення	Важливі характеристики та ціна
КРД "INDIagraf" (базова рентгенівська система). [13].		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах травматологічного та загального профілю	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Кути нахилу поворотного штативу: 0/-30°/+90°,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: від 32 кВт до 50 кВт,</li> <li>–Ціна: від 2500000 грн.</li> </ul>
Високочастотна рентгенографічна система BT-XR01 Праймед		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах травматологічного та загального профілю	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,4 п.л./мм,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,3x0,3 мм та 0,6x0,6 мм,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: 15 кВт,</li> <li>–Ціна: від 2572680 грн.</li> </ul>
КРД «INDIagraf-02» (плівковий, палатний до 10 кВт)		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: від 5 кВт до 10 кВт,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,0x1,0 мм,</li> <li>–Вага апарату: 85кг,</li> <li>–Ціна: від 360000 грн.</li> </ul>
Палатний рентген апарат сімейства IMAX 101 (плівковий)		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: від 3,5 кВт до 5 кВт,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,8x0,8 мм та 1,5x1,5 мм,</li> <li>–Вага апарату: 150кг,</li> <li>–Ціна: від 695000 грн.</li> </ul>



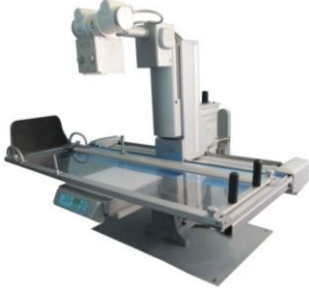
Продовження таблиці 2.1

Тип КРД	Зовнішній вигляд	Призначення	Важливі характеристики та ціна
КРД «INDIagraf-02» (плівковий, палатний до 5 кВт). [14].		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	–Потужність пристрою живлення: від 3 кВт до 8 кВт, –Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,0x1,0 мм, –Вага апарату: 45кг, –Ціна: від 260000 грн.
Електронна рухома рентген система BT-XS05 Праймед (плівковий)		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	–Потужність пристрою живлення: 5 кВт, –Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,0x1,0 мм, –Вага апарату: 45кг, –Ціна: від 2234295 грн.
Універсальна мобільна рентгенівська установка ІМАХ100 (плівковий)		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	–Потужність пристрою живлення: 2,5 кВт, –Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,8x0,8 мм та 1,5x1,5 мм, –Вага апарату: 150кг, –Ціна: від 436000 грн
КРД «INDIagraf-02» (цифровий, палатний до 5 кВт)		Виконання рентгенівських досліджень у відділеннях невідкладної допомоги, інтенсивної терапії та приймальних відділеннях	–Потужність пристрою живлення: від 5 кВт до 8 кВт, –Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,0x1,0 мм, –Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм, –Вага апарату: 45кг, –Ціна: від 460000 грн.
КРД "INDIascan" (базова рентгенівська система)		Виконання цифрової скринінгової повноформатної рентгенографії грудної клітини	–Потужність пристрою живлення: від 15 кВт до 32 кВт, –Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм, –Ціна: від 1800000 грн.

Продовження таблиці 2.1

Тип КРД	Зовнішній вигляд	Призначення	Важливі характеристики та ціна
Високочастотна флюороскопічна система ВТ-ХR13 Праймед		Виконання цифрової скринінгової повноформатної рентгенографії грудної клітини	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: від 15 кВт до 32 кВт,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Ціна: від 3800389 грн.</li> </ul>
КРД "INDIascan-01" (базова рентгенівська система)		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: 85 кВт,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Ціна: від 1800000 грн.</li> </ul>
Високочастотна електронна панельна флюороскопічна система ВТ-ХR17 Праймед		Виконання всіх видів рентгенографічних обстежень в лікувальних установах	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: 50 кВт,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгенівської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Ціна: від 3657500грн.</li> </ul>
КРД "INDIascan-01" на базі шасі транспортного засобу		Виконання всіх видів обстежень органів грудної клітини	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Кути обертання штативу: 120°/150°,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: від 32 кВт до 50 кВт,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 4,0 п.л./мм,</li> <li>–Двигун класу: Євро 5,</li> <li>–Витрата палива: 13 л / 100 км,</li> <li>–Ціна: від 5300000 грн.</li> </ul>

Продовження таблиці 2.1

Тип КРД	Зовнішній вигляд	Призначення	Важливі характеристики та ціна
КРД "INDIascan" на базі шасі Mercedes Sprinter		Виконання цифрової скринінгової повноформатної рентгенографії грудної клітини	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: від 15 кВт до 32 кВт,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Двигун класу: Євро 6,</li> <li>–Витрата палива: 7,8 л / 100 км,</li> <li>–Ціна: від 5300000 грн.</li> </ul>
КРД "INDIascan-01" (кабінний)		Виконання спеціалізованих обстежень органів грудної клітини	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Потужність пристрою живлення: від 15 кВт до 32 кВт,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 3,6 п.л./мм,</li> <li>–Ціна: від 1800000 грн.</li> </ul>
КРД "INDIascor-01" універсальний (на 3 робочих місця)		Виконання рентгеноскопичних, рентгенографічних та томографічних досліджень	<ul style="list-style-type: none"> <li>–Кути нахилу поворотного штативу: +90°/-90°,</li> <li>–Просторова розподільча здатність цифрого приймача: 4,0 п.л./мм,</li> <li>–Розмір фокусних плям рентгеновської трубки: 0,6x0,6 мм та 1,2x1,2 мм,</li> <li>–Потужність пристрою живлення: від 50 кВт до 85 кВт,</li> <li>–Наявність компресійного пристрою,</li> <li>–Ціна: від 5300000 грн.</li> </ul>

Підсумувавши проведений аналіз сучасних РДК можна сказати, що технічні характеристики вітчизняних і європейських РДК, які були проаналізовані між собою в залежності від модифікацій, дуже схожі. Безпека та діагностична цінність вітчизняного обладнання на високому рівні, що дозволяє конкурувати з європейськими виробниками.

Цінова політика вітчизняних РДК набагато доступніше для медичних лікувальних закладів України. Підтримуючи вітчизняного виробника, відбувається підтримка процесу виробництва та робочих місць на ньому, а за рахунок виплачування податків до бюджету держави, відбувається підтримка економіки країни.

Перед випуском обладнання з виробництва, воно проходить ПЗВ для визначення дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК, які необхідні для контролю та підтвердження якості випущеного обладнання, перевірки його стабільної та безпечної роботи.

Перевищення та невідповідність електро-технічних параметрів обладнання нормі може призвести до ураження людини електричним струмом, це загрожує місцевим ураженням та електричним ударом.

Перевищення та невідповідність дозоформуєчих параметрів обладнання нормі може призвести до переопромінення пацієнтів і персоналу, що в подальшому може призвести до променевої хвороби.

## 2.2 Методи визначення дозоформуєчих параметрів

Випробування дозоформуєчих параметрів КРД проводиться за допомогою протоколу ПЗВ, наведеного у додатку И.

### 2.2.1 Перевірка роздільної здатності

Роздільна здатність – це здатність електровакуумного приладу (рентгенівської трубки), відтворювати зображення (шляхом генерації випромінювання) знімка близько розташованої людини на комп'ютері за допомогою приймального пристрою. [15].

Алюміній – це метал, що відрізняється легкою вагою, чудовими механічними і антикорозійними властивостями. До його переваг також відносяться висока електропровідність, легкість обробки, вогнестійкість, пластичність, термостійкість.

У рентгенодіагностиці застосовують рентгенівські фільтри з алюмінію. Вони поглинають довгохвильову частину випромінювання, яка сильно послабляється у тілі, не досягає екрану для просвічування або плівки, і збільшує променеве навантаження на організм. [16]. Товщина застосовуваного рентгенівського фільтра залежить від величини напруги на трубці. При правильно обраній товщині фільтра променеве навантаження зменшується (рис.2.1). У захисних кожухах рентгенівських трубок, наповнених маслом, останнє еквівалентно алюмінієвому рентгенівському фільтру товщиною 1–1,5мм.

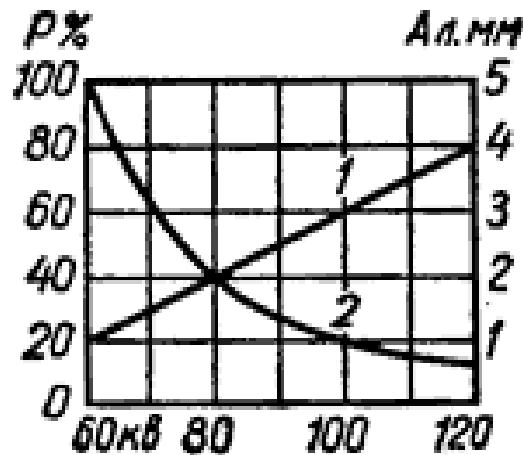


Рисунок 2.1 – Товщина алюмінієвого фільтра в залежності від напруги

Призначення алюмінієвого фільтра – для ослаблення рентгенівського випромінювання РДК при контролі дозоформуючих параметрів.

Міра рентгенівська штрихова МР-1 – це випробувальна пластинка з нанесеним на неї стандартним малюнком у вигляді смуг. (рис.2.2). Вона виготовлена з органічного скла товщиною, не більше 3 мм. На мірі нанесені штрихові лінії та цифри. Лінії виготовляються з свинцевої фольги, товщиною  $90 \pm 10$  мкм на рентгенопрозорій підкладці. Діапазон її вимірювання від 0,7 пар.лін./мм до 5,0 пар.лін./мм. [17].

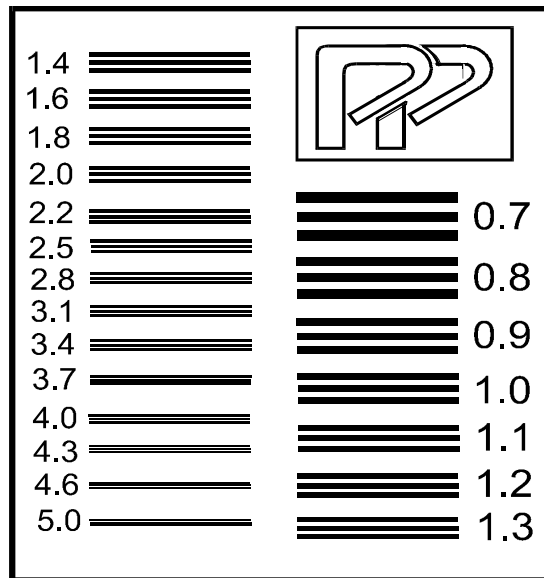


Рисунок 2.2 – Міра рентгенівська штрихова МР-1

Це випробування відбувається з використанням штрихової міри МР-1. Міра кріпиться по черзі у верхній, нижній кут, і у центр приймального пристрою. На випромінювач кріпиться фільтр половинного ослаблення, який дорівнює  $7 \pm 0,5$  мм алюмінію, який буде закривати вікно випромінювача, і давати пучку рентгенівського випромінювання пробити цей алюмінієвий фільтр. Після розміщення міри, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним забезпеченням «Нейрон». Вибираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК: 75 кВ, 100 мА, 0,07 с, робиться знімок і аналізується роздільна здатність по зображенню міри на проявленій плівці, або отриманого знімка з приймального пристрою на екрані ПК, зображення розглядається не озброєним оком.

Результати випробування вважаються позитивними, якщо різняться напрямки штрихів і цифр, та значення роздільної здатності більше 1,6 пар.лін./мм, відповідно до ТУ на РДК.

### 2.2.2. Перевірка граничного контрасту

Граничний контраст ПРЗ – це мінімальне значення контрасту рентгеновського зображення заданого тест-об'єкту, необхідне для візуального виявлення цього тест-об'єкту у вихідному зображенні підсилювача рентгеновського зображення при використанні випромінювання заданої якості.

Випробувальна таблиця – це тест-об'єкт, при виготовленні якого на підкладку з органічного скла товщиною 3 мм, наносять тести  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ . Тести виготовляють з алюмінію завтовшки  $V_1 = 0,2 \pm 0,02$  мм,  $V_2 = 0,5 \pm 0,05$  мм, і  $V_3 = 0,3 \pm 0,03$  мм.

Дозиметр ДРЦ-01 (рис.2.3) створений для забезпечення вимог Закону України «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» (№15/98 – ВР від 14.01.1998 р.). Він застосовується для контролю радіаційного виходу РДК і для визначення дозових навантажень на пацієнта при проведенні рентгенологічних досліджень. [18].



Рисунок 2.3 – Дозиметр ДРЦ-01

Це випробування відбувається з використанням випробувальної таблиці. Випробувальна таблиця встановлюється на вхідній площині приймального пристрою. На випромінювач кріпиться фільтр половинного

ослаблення, який дорівнює  $7 \pm 0,5$  мм алюмінію, який буде закривати вікно випромінювача і давати пучку рентгенівського випромінювання пробити цей алюмінієвий фільтр. Після розміщення випробувальної таблиці, на вхідній площині приймального пристрою, встановлюється вимірювальна іонізаційна камера дозиметра ДРЦ-01, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним забезпеченням «Нейрон». Вибираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК: 75 кВ, 50 мА, 0,010 с. Робиться знімок, і вимірюється граничний контраст по зображенню випробувальної таблиці на проявленій плівці, або отриманого знімка з приймального пристрою на екрані ПК, зображення розглядається неозброєним оком, граничний контраст визначається в момент початку зникнення зображення тесту  $V_1$ , зображення тесту  $V_1$  повинно відрізнятися від зображення тестів  $V_2$  та  $V_3$ , бути ледь видимим. З екрану дозиметра ДРЦ-01 записується отримане значення граничного контрасту, виміряне в  $\Gamma\text{p}/\text{cm}^2$ .

Малий граничний контраст РДК дає можливість розрізнити на екрані малоконтрастні об'єкти.

Результати випробування вважаються позитивними, якщо значення граничного контрасту більше  $3,25 \pm 0,53$  мкГр, відповідно до ТУ на РДК.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

### 2.2.3 Перевірка динамічного діапазону

Динамічний діапазон – це здатність приймального пристрою до розпізнавання і одночасної передачі світлих і темних деталей знімку. [19].

Це випробування відбувається з використанням випробувальної таблиці. Випробувальна таблиця встановлюється на вхідній площині приймального пристрою. На випромінювач кріпиться фільтр половинного ослаблення, який дорівнює  $7 \pm 0,5$  мм алюмінію, який буде закривати вікно випромінювача, і давати пучку рентгенівського випромінювання пробити цей алюмінієвий фільтр. Після розміщення випробувальної таблиці, на вхідній

площині приймального пристрою встановлюється вимірювальна іонізаційна камера дозиметра ДРЦ-01, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним забезпеченням «Нейрон». Вибираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК для двох параметрів: 75 кВ, 50 мА, 0,010 с – для мінімального динамічного діапазону, і 75 кВ, 110 мА, 0,04 с – для максимального динамічного діапазону. Робиться знімок, і вимірюється динамічний діапазон по зображенню випробувальної таблиці на проявленій плівці, або отриманого знімка з приймального пристрою на екрані ПК, зображення розглядається неозброєним оком, динамічний діапазон визначається в момент зникнення зображення тесту  $V_2$ , зображення тесту  $V_2$  повиненно перестати спостерігатися. З екрану дозиметра ДРЦ-01 записується отримане значення потужності дози випромінювання при мінімальному і максимальному динамічному діапазоні, виміряні в  $\text{Гр}/\text{см}^2$ .

Широкий динамічний діапазон і можливість цифрової обробки зображення забезпечують діагностику як щільних, так і м'яких тканин на одному знімку.

Результати випробування вважаються позитивними, якщо значення динамічного діапазону більше 50, відповідно до ТУ на РДК.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

#### 2.2.4 Перевірка стабільності

Це випробування проводиться за допомогою іонізаційної камери дозиметра ДРЦ-01. На входній площині приймального пристрою встановлюється вимірювальна іонізаційна камера дозиметра ДРЦ-01, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним забезпеченням «Нейрон». Вибираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК для трьох параметрів: 50 кВ, 60 мА, 0,05 с – для мінімального значення стабільності,

75 кВ, 75 мА, 0,05 с – для середнього значення стабільності, і 90 кВ, 85 мА, 0,1 с – для високого значення стабільності. Робиться знімок і перевіряється значення стабільності на екрані дозиметра ДРЦ-01, що надходить з іонізаційної камери. Значення перевіряється по п'яти отриманих значеннях зі знімків, змінюється чи стабільність при не змінених уставках напруги, струму і експозиції. З екрану дозиметра ДРЦ-01 записуються отримані значення стабільності випромінювання для трьох параметрів з п'ятьма отриманими значеннями в Гр/см<sup>2</sup>, вони складаються між собою та діляться на кількість вимірів. Вони можуть змінюватися в межах 20%.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

#### 2.2.5 Перевірка виставленої напруги

Це випробування проводиться за допомогою детектора кіловольтметра і ноутбука, з встановленою заздалегідь програмою. На вхідній площині приймального пристрою розміщується детектор кіловольтметра, підключений до ноутбука, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним забезпеченням «Нейрон». Вибираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК для трьох параметрів: 50 кВ, 60 мА, 0,05 с – для мінімального значення стабільності, 75 кВ, 75 мА, 0,05 с – для середнього значення стабільності, і 90 кВ, 85 мА, 0,1 с – для високого значення стабільності. Робиться знімок і перевіряється значення напруги по зображенню отриманої діаграми у встановленій програмі ноутбука, яке знято з детектора кіловольтметра, зображення діаграми розглядається неозброєним оком, воно перевіряється по п'яти отриманих значеннях, змінюється чи значення напруги, при незмінених уставках напруги, струму і експозиції для трьох параметрів. З екрану ноутбука, записуються отримані значення напруги для трьох параметрів з

п'ятьма отриманими значеннями. в кВ, вони складаються між собою та діляться на кількість вимірів..Вони можуть змінюватися в межах 10%.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

#### 2.2.6 Перевірка потужності при закритих шторках діафрагми

Дозиметр портативний ДКС-АТ1123 – є багатофункціональним датчиком (рис.2.4), призначеним для контролю радіаційної обстановки при експлуатації ядерно-енергетичних і рентгенівських установок, а також радіаційного моніторингу довкілля. Прилад може бути рекомендований для працівників атомної промисловості, медицини, митних та аварійно-рятувальних служб. [20].

Основною функцією дозиметра ДКС-АТ1123 є вимір амбієнтної дози і потужності амбієнтної дози безперервного, імпульсного і короткочасно чинного рентгенівського і гамма-випромінювань. Крім того, в приладі реалізована функція пошуку і локалізації радіоактивних джерел, в тому числі рухомих.



Рисунок 2.4 – Дозиметр ДКС-АТ1123

Це випробування проводиться за допомогою дозиметра рентгенівського і гамма – випромінювання ДКС-АТ1123. Випробування проводяться під час знімка з уставками: напруги 100 кВ, струму 100 мА, і тривалістю експозиції 0,1 с. Точки вимірювання при контролі захисних властивостей знаходяться на поверхні уявної сфери радіусом 1000 мм з центром в фокусній плямі випромінювача з відстанню між точками вимірювання 100 мм. Проводять не менше 6 вимірювань в точках діаметрально рознесених по всіх ортогональних осях випромінювача. Випробування проходить в двох площинах: у вертикальній та горизонтальній, і проводяться 8 вимірювань в точках під градусом: 0°, 45°, 90°, 135°, 160°, 225°, 270°, 315°. Показання, збережені на екрані і в пам'яті дозиметра ДКС-АТ1123, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

Результати випробування, вважаються позитивним, якщо потужність дози випромінювання при закритих шторках діафрагми, при зазначених вище умовах, на відстані 100 см від фокусної плями в будь-якому напрямку, не перевищує 0,87 мГр/год (100 мР/год).

Рентгенівські випромінювачі апаратів повинні мати такі захисні пристрої, щоб при закритому вихідному вікні (шторках) і при будь-яких умовах, зазначених в експлуатаційній документації, потужність дози випромінювання не перевищувала 0,87 мГр/год (мР/год) на відстані 100 см від фокусної плями, в будь-якому напрямку.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

#### 2.2.7 Перевірка радіаційного виходу рентгенівської трубки

Це випробування проводиться за допомогою іонізаційної камери дозиметра ДРЦ-01. На виході випромінювача встановлюється вимірювальна іонізаційна камера дозиметра ДРЦ-01, виставляється напруга, струм і експозиція рентгенівської трубки на пульті керування з програмним

забезпеченням «Нейрон». Обираються усереднені значення, відповідно до ТУ на РДК: 80 кВ, 90 мА, 0,1 с. Робиться знімок при цих уставках, після з екрану дозиметра ДРЦ-01 записується отримане значення радіаційного виходу рентгенівської трубки. Отримане значення в  $\text{Гр}\cdot\text{см}^2$ , перераховується і записується в  $\text{мР}/\text{мА}\cdot\text{с}$ . Значення радіаційного виходу має бути в межах від 1,5  $\text{мР}/\text{мА}\cdot\text{с}$  до 21  $\text{мР}/\text{мА}\cdot\text{с}$ , відповідно до рекомендацій інституту С.П.Григор'єва АМН України.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

### 2.3 Методи визначення електро-технічних параметрів

Випробування електро-технічних параметрів КРД проводиться за допомогою протоколу ПЗВ, наведеного у додатку К.

2.3.1 Перевірка захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин

Щуп-предмет – це випробувальний щуп (рис.2.5) для перевірки можливості проникнення всередину захисного кожуха штативного пристрою та пристрою живлення, що імітує зовнішній твердий предмет (частину людського тіла – палець). [21].



Рисунок 2.5 – Випробувальний щуп-предмет

Це випробування відбувається з використанням випробувального щуп-предмета діаметром 12,5 мм. [22]. При виробуванні РДК, щуп-предмет намагаються протиснути в отвори які викликають сумніви: отвори захисного кожуху штативного пристрою, пристрою живлення та частини, які знаходяться під напругою. Випробовують без докладання зайвих зусиль в кожному можливому положенні.

Результат випробувань вважають позитивним, якщо доступ щуп-предмет в отвори неможливий.

### 2.3.2 Перевірка опору заземлення

Опір заземлення – це важливий показник, необхідний для правильного монтажу заземлюючого контуру, який відповідає за безпеку електричних установок. Цей показник складається з трьох опорів: ґрунту, заземлювальних провідників та заземлювача. [23].

Вимірювач параметрів електроустановок EurotestXE 2,5 кВ MI 3102H – це професійний, багатофункціональний, переносний вимірювальний прилад (рис.2.6), призначений для проведення повного набору вимірювань, необхідних для моніторингу стану електроустановок в будівлях. За допомогою приладу можуть бути виконані наступні вимірювання і випробування: вимірювання напруги і частоти, перевірка безперервності захисного провідника (струмом 200 мА і 7 мА), вимірювання опору ізоляції випробувальним напругою до 2,5кВ, діагностична перевірка ізоляції, перевірка параметрів пристрою захисного відключення, вимірювання повного опору контуру, в тому числі з функцією блокування спрацьовування пристрою захисного відключення, вимірювання повного опору лінії, перевірка правильності чергування фаз, вимірювання опору заземлення, вимірювання істинної середньоквадратичної величини сили струму, вимірювання освітленості. [24]. В РДК повинно бути забезпечено електричне з'єднання всіх доступних для доторкнення металевих не струмоведучих

частин виробів, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, з елементами заземлення.



Рисунок 2.6 – Вимірювач параметрів електроустановок  
EurotestXE 2,5 кВ MI 3102H

Це випробування відбувається з використанням вимірювача параметрів електроустановок EurotestXE 2,5 кВ MI 3102H. За допомогою перемикача функцій в меню вимірювача, оберається функція – Опір заземлення (R). На дисплеї відобразиться меню вимірювання опору заземлення. Підключається вимірювальний кабель до приладу EurotestXE 2,5 кВ. Встановлюється напруга, яка подається на вхідний роз'єм: для РДК 380 В - 2,5 кВ, для РДК 220 В - 1,5 кВ, та максимально допустимий опір заземлення: 0,2 Ом, при вимірюванні з урахуванням природних заземлювачів і повторних заземлювачів ліній, що відходять. Прилад підключається до РДК, відповідно до схеми з'єднань, наведеної на рисунку 2.7. Вимірювальні дроти підключаються наступним чином: L/L1 - чорний вимірювальний провід приєднується до допоміжного токового зонду (H); N/L2 - синій вимірювальний провід приєднується до заземлювача (E); PE/L3 - зелений вимірювальний провід приєднується до потенційного зонду (S). Перед

початком вимірювання перевіряються відображенні на дисплеї попередження і оперативна напруга. Якщо вимір дозволено, натискається кнопка TEST.

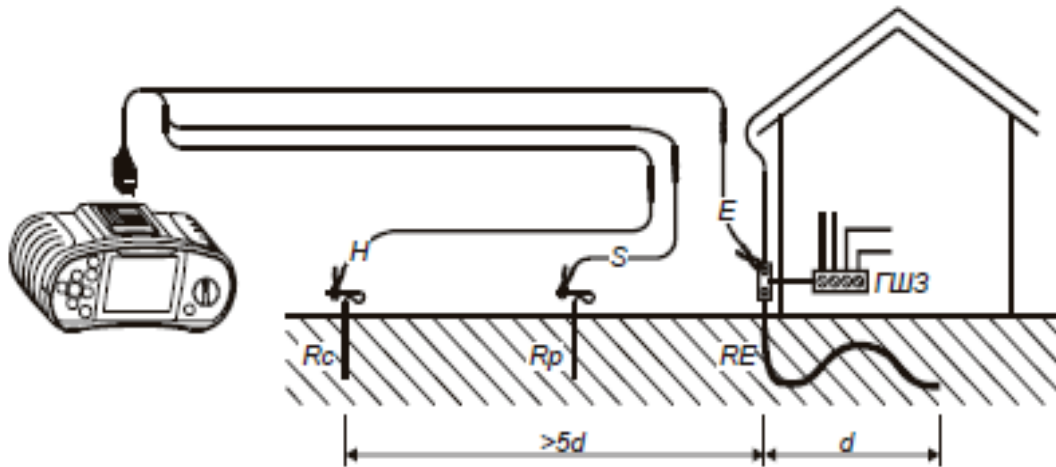


Рисунок 2.7 – Схема підключення стандартних вимірювальних проводів для визначення опору заземлення

Після завершення вимірювання на дисплеї відображаються результати вимірювань (вимірний опір заземлення в Ом). [24].

Результати випробування вважаються позитивними, якщо значення опору заземлення менше 0,2 Ом, відповідно до ТУ на РДК.

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

### 2.3.3 Перевірка електричної міцності ізоляції

Електрична міцність ізоляції – це випробувальна напруга, яку повинна витримувати ізоляція електротехнічного обладнання. [25].

Установка пробійна універсальна УПУ-10 (рис.2.8) призначена для випробування ізоляції електротехнічного обладнання і матеріалів, змінною синусоїдальною напругою, частотою 50 Гц і випрямленою напругою негативної полярності, регульованою в межах 0-10 кВ з вихідним струмом до 100 мА. [26].



Рисунок 2.8 – Установа пробійна універсальна УПУ-10

Це випробування відбувається з використанням установки пробійної універсальної УПУ-10. Перевірку проводять на вимкненому з мережі РДК, при ввімкнених тумблерах мережі. Випробування проводять за робочою температури й безпосередньо після попередньої дії вологи в камери вологи протягом 48 годин (до камери поміщають окремі блоки РДК). Після закінчення дії вологи, блоки виймають та монтують на РДК за мінімально можливий час, після монтажу відразу проводять випробування. Випробування проводять на наступних ділянках ізоляції: доступні для дотику частини, які з'єднані/не з'єднані з затискачем захисного уземлення, сигнальний вхід/вихід, доступні для дотику частини, мережева частина. На УПУ-10 встановлюються випробувальна напруга – 3000 В, яка прикладається між закороченими виводами живлення та клемою заземлення.

Результати випробувані вважають позитивними, якщо ізоляція, яка випробовується, витримала протягом 1 хвилини випробувальну напругу без пробою та перекриття ізоляції. [27] та вимірний опір ізоляції  $> 100$  МОм.

### 2.3.4 Перевірка напруги та частоти

Вимірювання напруги повинно регулярно проводитися при роботі з електроустановками (виконання різних вимірів і випробувань, виявлення місця розташування несправності і т. п.). Частота вимірюється, наприклад, при встановленні джерела напруги (трансформатора потужності або автономного генератора). [24].

Це випробування відбувається з використанням вимірювача параметрів електроустановок EurotestXE 2,5 кВ МІ 3102Н. За допомогою перемикача функцій в меню вимірювача, обирається функція - Напруга (U). На дисплеї відобразиться меню вимірювання напруги та частоти. Підключається вимірювальний кабель до приладу EurotestXE 2,5 кВ. Встановлюється максимально допустимі частота та напруга для РДК: при частоті 50 Гц: напруга  $380\pm 38$  В та  $220\pm 38$  В, відповідно до різних модифікацій РДК. Прилад підключається до РДК, відповідно до схеми з'єднань, наведеної на рисунку 2.9. Перед початком вимірювання перевіряються відображення на дисплеї попередження і оперативна напруга, та виконується безперервний вимір. Після завершення вимірювання на дисплеї відображаються результати вимірювань (вимірювальна напруга в В та частота в Гц). [24].

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

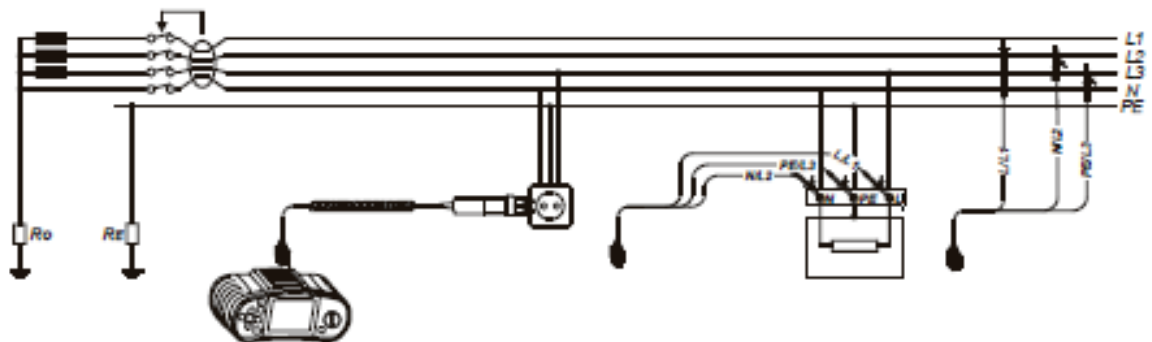


Рисунок 2.9 – Схема підключення стандартних вимірювальних проводів для визначення напруги та частоти

### 2.3.5 Перевірка істинної середньоквадратичної величини сили струму

Це випробування відбувається з використанням вимірювача параметрів електроустановок EurotestXE 2,5 кВ МІ 3102Н та опціональних струмових кліщів А 1018 (рис.2.10), призначених для виміру істинної середньоквадратичної величини сили струму в широкому діапазоні від 0,5 мА до 20 А.



Рисунок 2.10 – Опціональні струмові кліщі А 1018

За допомогою перемикача функцій в меню вимірювача, обирається функція - Струм (I). На дисплеї відобразиться меню вимірювання істинної середньоквадратичної величини сили струму. Підключаються струмові кліщі до роз'єму приладу EurotestXE 2,5 кВ. Встановлюється параметр вимірювання - Максимально допустиме значення струму – 0,5 мА. Прилад підключається до РДК, відповідно до схеми з'єднань, наведеної на рисунку 2.11. Перед початком вимірювання перевіряються відображенні на дисплеї попередження і оперативна напруга. Якщо вимір дозволено, натискається кнопка TEST.

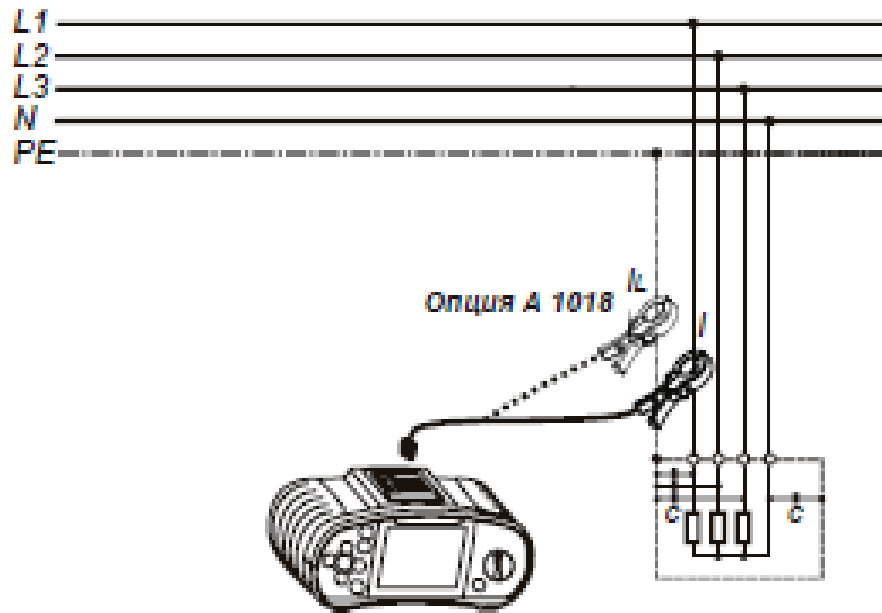


Рисунок 2.11 – Схема підключення стандартних вимірювальних проводів для визначення істинної середньоквадратичної величини сили струму

Після завершення вимірювання на дисплеї відображаються результати вимірювань (середньоквадратична величина сили струму, в мА). [24].

Показання, збережені на екрані і в пам'яті приладу, можна перенести в пам'ять ПК, а можна записати в протокол ПЗВ.

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

В даному розділі, беручи за основу структурну схему універсального рентгенівського апарату (рис.3.1), була розроблена структурна схема системи контролю параметрів РДК, яка наведена у додатку В.

#### 3.1 Структурна схема універсального рентгенівського апарату

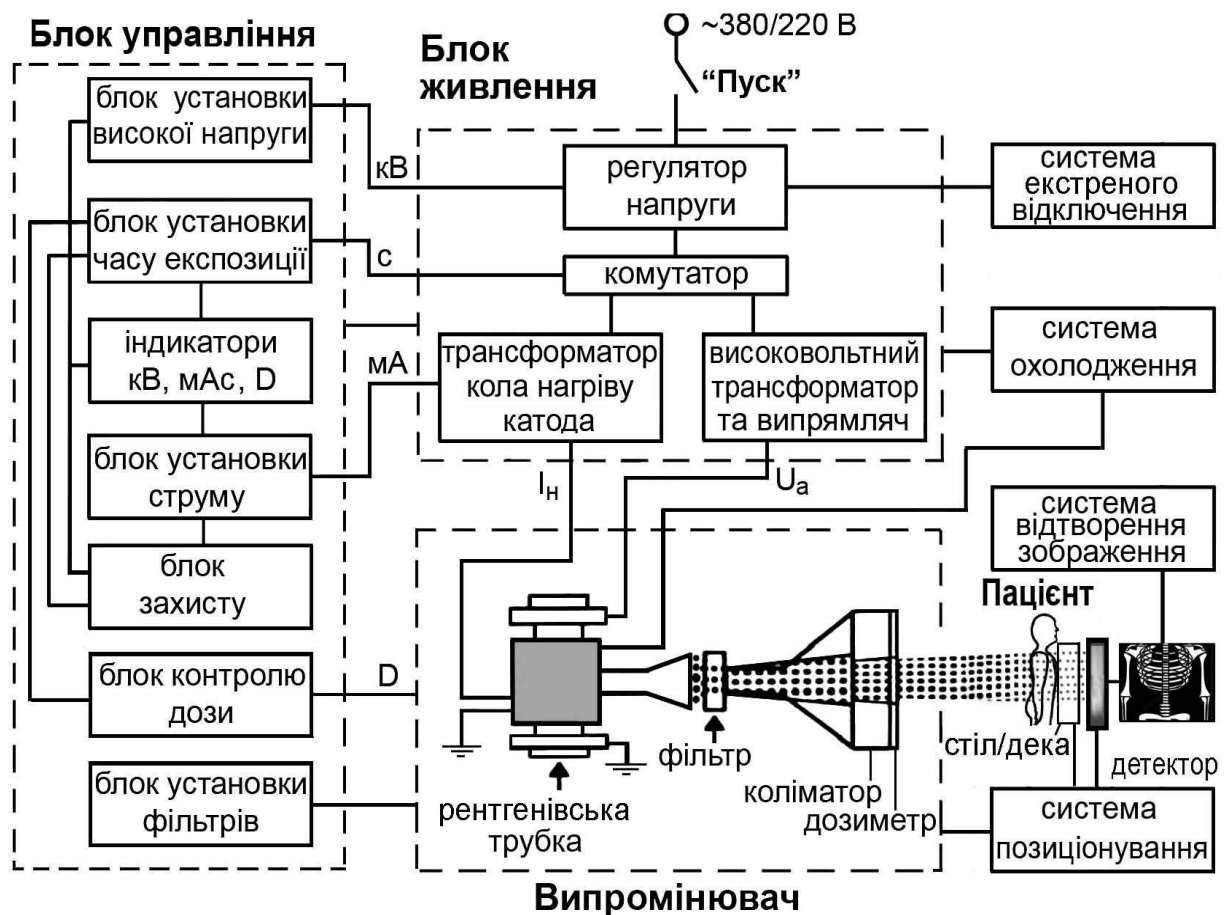


Рисунок 3.1 – Структурна схема універсального рентгенівського апарату

Універсальний рентгенівський апарат містить випромінювач з рентгенівською трубкою, штативний пристрій, детектор зображення (касета/приймальний пристрій), пристрій живлення (блок

живлення/генератор), діафрагму (коліматор), блок управління (пульт керування), системи позиціонування, охолодження та екстреного відключення.

Випромінювач рентгенівського апарату – це блок, який містить джерело випромінювання – рентгенівську трубку та засоби формування та моніторингу пучка рентгенівських променів, змонтовані у захисному корпусі. Випромінювач монтується на штативному пристрої, що дозволяє змінювати орієнтацію рентгенівського пучка відносно пацієнта.

Система відтворення зображення – це сукупність пристроїв детектування рентгенівського зображення та документування. Головним елементом є – рентгеночутливий пристрій (екран, касета з плівкою, твердотільна пластина, матриця детекторів тощо), який реєструє розподіл рентгенівського випромінювання за об'єктом (променевиї рельєф) та перетворює його у розподіл яскравостей, придатний для зорового сприйняття.

Блок живлення – це пристрій, що генерує високу анодну напругу рентгенівської трубки, живить коло нагріву катода трубки, а також електричні пристрої блоку управління, системи позиціонування, охолодження тощо. Напруга електричної мережі підводиться до первинної обмотки головного (підвищуючого) трансформатора, з вторинної обмотки якого висока напруга подається на випрямляючий пристрій, а після на рентгенівську трубку.

Блок управління – це сукупність пристроїв регулювання та індикації випрямленої анодної напруги (кВ), струму трубки (мА) та часу експозиції (мс). Блок управління також містить засоби контролю дози в пучку (D) та блок управління установкою рентгенівських фільтрів. В разі технічних неполадок спрацьовує блок захисту, який зупиняє таймер експозиції. Експозиційна доза (кількісна характеристика) та спектр випромінювання трубки (якісна

характеристика) залежать від встановлених електричних величин (кВ, мА) та часу експозиції (мс).

Система позиціонування – це сукупність електромеханічних пристроїв, яка дозволяє розмістити пацієнта відносно рентгенівського пучка для зображення у певній проекції. Насамперед, це рухомий стіл (дека) пацієнта, а також штативні пристрої позиціонування випромінювача та детектора.

Рентгенівський апарат містить систему повітряного радіаторного та/або проточного (водяного, масляного) охолодження, а також систему екстреного відключення електричного живлення. Сучасні рентгенівські апарати забезпечені досить складними пристроями для стабілізації напруги і струму рентгенівської трубки, а також для захисту її від можливих перевантажень. Крім складних пристроїв для регулювання часу експозиції, рентгенівські апарати забезпечені автоматичними перемикачами режимів роботи апарату, що буває необхідно, наприклад, при швидкому переході з режиму просвічування на режим знімків і назад. Крім того, всі сучасні рентгенівські апарати мають систему захисту від бічного рентгенівського випромінювання та від ураження електричним струмом високої напруги. За характером захисту від ураження струмом високої напруги розрізняють: блок-апарати, в яких високовольтний пристрій разом з рентгенівською трубкою вкладені в спільний заземлений металевий кожух, та кабельні апарати, в яких провідники високої напруги вкладені в ізольовані високовольтні кабелі, а трубка і головний трансформатор в металеві заземлені кожухи. Блок-апарати зазвичай застосовують як пересувні, а кабельні як стаціонарні. [4].

Враховуючи результати проведеного аналітичного огляду для автоматизації контролю дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК була розроблена структурна схема системи контролю параметрів РДК, яка наведена у додатку В, а схема взаємодії основних модулів системи контролю параметрів РДК представлена на рисунку 3.2.

### 3.2 Схема взаємодії основних модулів системи контролю параметрів рентгенівських діагностичних комплексів

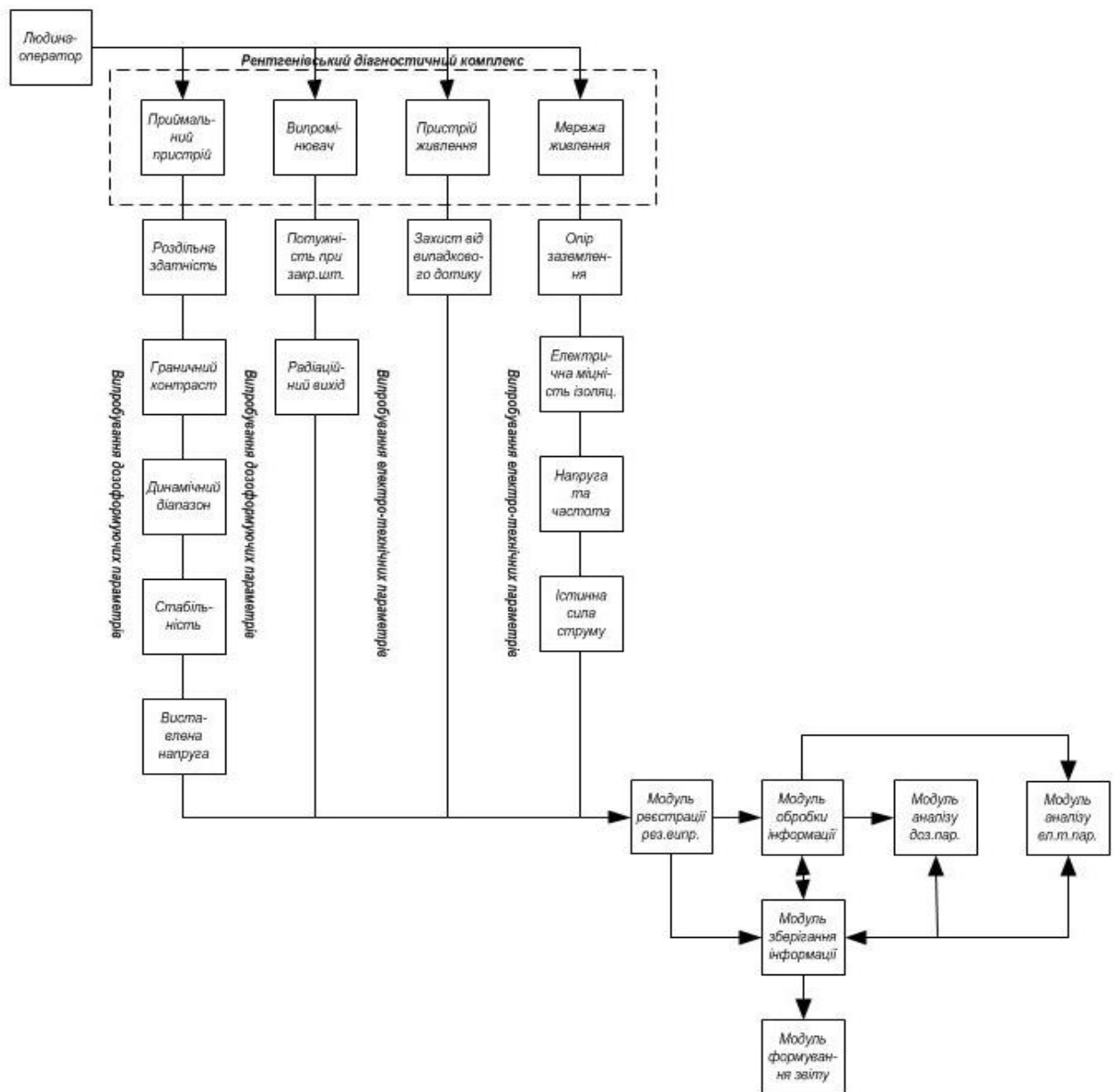


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії основних модулів системи контролю параметрів РДК

Програмний засіб складається з шести взаємопов'язаних модулів, які забезпечують реєстрацію, обробку, аналіз дозоформуєчих параметрів РДК, аналіз електро-технічних параметрів РДК, зберігання, формування звіту та

п`яти блоків, чотири з яких –це безпосередньо сам РДК, і останній блок – це оператор, який проводить випробування семи дозоформуєчих та п`яти електро-технічних параметрів РДК, заносить отримані дані в протоколи ПЗВ (додатки И, К) та переносить отримані дані з усіх випробувальних приладів, які описані в розділах 2.2-2.3 у модуль реєстрації результатів випробувань.

У модулі реєстрації результатів випробувань відбувається внесення результатів випробування дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК:

- роздільної здатності;
- граничного контрасту;
- динамічного діапазону;
- стабільності;
- виставленої напруги;
- потужності при закритих шторках діафрагми;
- радіаційного виходу рентгенівської трубки;
- захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин;
- опору заземлення;
- електричної міцності ізоляції;
- напруги та частоти;
- істинної середньоквадратичної величини сили струму.

У модулі обробки інформації відбувається розрахунок п`яти основних дозоформуєчих параметрів: граничного контрасту; динамічного діапазону; стабільності; виставленої напруги, радіаційного виходу рентгенівської трубки.

У модулі аналізу дозоформуєчих параметрів відбувається аналіз семи дозоформуєчих параметрів: роздільної здатності, граничного контрасту, динамічного діапазону, стабільності, виставленої напруги, потужності при закритих шторках діафрагми, радіаційного виходу рентгенівської трубки та їх порівняння з нормальними та гранично допустимими значеннями, після

чого встановлюється рішення про можливість використання РДК, або про необхідність корекції його блоків.

У модулі аналізу електро-технічних параметрів відбувається аналіз п'яти електро-технічних параметрів: захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин, опору заземлення, електричної міцності ізоляції, напруги та частоти, істинної середньоквадратичної величини сили струму та їх порівняння з нормальними та гранично допустимими значеннями, після чого встановлюється рішення про можливість використання РДК, або про необхідність корекції його блоків.

У модулі зберігання інформації відбувається зберігання значень, що надходять з модулів: реєстрації результатів випробувань, обробки інформації та аналізу дозоформуєчих та електро-технічних параметрів.

У модулі формування звіту про результати перевірки відбувається вивід вікна системи MATLAB з розрахованим результатом дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК.

Програмний засіб працює наступним чином. Людина-оператор проводить випробування кожного з дозоформуєчих та електро-технічних параметрів (рис. 3.2). за методиками, що описані в розділі 2. Результати проведених випробувань та інформація про РДК, дозоформуєчі та електро-технічні параметри якого досліджуються, заносяться до модуля реєстрації результатів випробувань. Звідти інформація, яка не потребує обробки, потрапляє до модуля збереження, а інформація, на основі якої розраховуються інтегральні показники, або інформація, яка потребує кодування, передається до модуля обробки для виконання необхідних перетворень, після чого також потрапляє до модуля збереження. Модулі аналізу дозоформуєчих та електро-технічних параметрів за допомогою запиту до модуля збереження отримують значення дозоформуєчих та електро-технічних параметрів, які порівнюються з нормальними та гранично допустимими значеннями для прийняття рішення про можливість використання РДК в діагностичних цілях. Результати аналізу

дозоформуючих та електро-технічних параметрів також передаються в модуль збереження, звідки вони можуть передаватися до модуля формування звіту про результати перевірки РДК, який виводить вікно системи MATLAB з розрахованим результатом дозоформуючих та електро-технічних параметрів РДК.

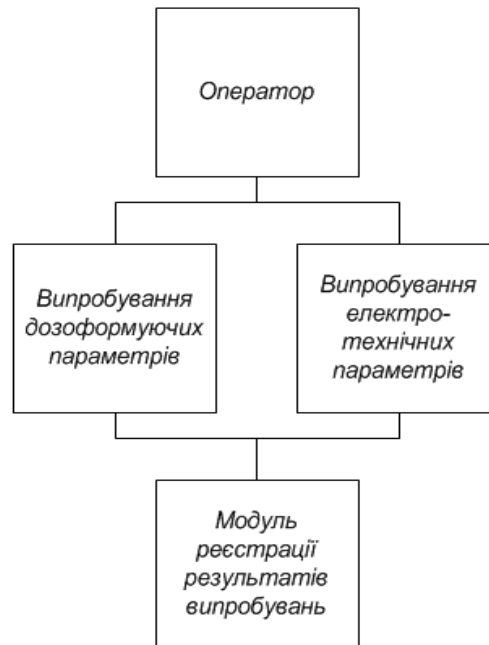


Рисунок 3.2 – Аналіз дозоформуючих та електро-технічних параметрів за допомогою розробленої системи контролю параметрів РДК

## 4 РОЗРОБКА МОДУЛЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДІАГНОСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

4.1 Метод контролю дозоформуючих параметрів рентгенівських діагностичних комплексів

Метод контролю дозоформуючих параметрів РДК полягає в наступному.

На першому етапі контролюється R, якщо значення R більше 1,6пар.лін./мм, то приймається результат, що R в нормі, а якщо R нижче норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На другому етапі розраховується P за формулою (4.1): Отримане значення з екрану дозиметра ДРЦ-01 ділиться на площу іонізаційної камери. Вже отримане значення в одиницях Гр перекладається в мкГр. Якщо значення P більше  $3,25 \pm 0,53$  мкГр, то приймається результат, що P в нормі, а якщо P нижче норми, то приймається результат, необхідна корекція.

$$P = \frac{z_1}{z_2} \times 10^{-6}, \quad (4.1)$$

де P – граничний контраст;

$z_1$  – отримане значення с екрану дозиметра ДРЦ-01;

$z_2$  – значення площі іонізаційної камери дозиметра ДРЦ-01, яке дорівнює 225;

$10^{-6}$  – переклад отриманного значення одиниць Гр у мкГр.

На третьому етапі розраховується D за формулою (4.2): Отримане максимальне значення ділиться на мінімальне значення, отримане з екрану дозиметра ДРЦ-01. Якщо значення D більше 50, то приймається результат,

що  $D$  в нормі, а якщо  $D$  нижче норми, то приймається результат, необхідна корекція.

$$D = \frac{D_{\max}}{D_{\min}}, \quad (4.2)$$

де  $D$  – динамічний діапазон;

$D_{\max}$  – максимальне отримане значення з екрану дозиметра ДРЦ-01;

$D_{\min}$  – мінімальне отримане значення з екрану дозиметра ДРЦ-01.

На четвертому етапі розраховується  $S_u$  за формулами (4.3-4.5). Розраховується  $\bar{n}_D$  за формулою (4.3): Отримані з екрану дозиметра ДРЦ-01 п'ять значень за трьома вимірами А, Б, В складаються між собою і діляться на кількість вимірів.

$$\bar{n}_D = \frac{1}{5} \times (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5), \quad (4.3)$$

де  $\bar{n}_D$  – середнє значення дози;

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  – отримані значення з екрану дозиметра ДРЦ-01 за трьома вимірами А, Б, В.

Після знаходження середнього значення дози, знаходиться значення відхилення від середнього значення за формулою (4.4):

$$n_{\text{откл.1}} = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n}_D)^2}, \quad (4.4)$$

де  $n_{\text{откл.1}}$  – значення відхилення від середнього значення;

$\bar{n}_D$  – середнє значення дози за  $n$  періодів;

$n_i$  – значення  $i$  періоду.

Після знаходження значення відхилення від середнього значення, знаходиться відношення середнього відхилення до середнього значення дози за формулою (4.5):

$$S_u = \frac{n_{\text{откл.}}}{\bar{n}_D}, \quad (4.5)$$

де  $S_u$  – відхилення стабільності.

Якщо значення  $S_u$  менше 20%, то приймається результат, що  $S_u$  в нормі, а якщо  $S_u$  вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На п'ятому етапі розраховується  $\bar{n}_U$  за формулами (4.6-4.8). Розраховується  $\bar{n}_U$  за формулою (4.6): Отримані з екрану дозиметра ДРЦ-01 п'ять значень за трьома вимірами А, Б, В складаються між собою і діляться на кількість вимірювань.

$$\bar{n}_U = \frac{1}{5} \times (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5), \quad (4.6)$$

де  $\bar{n}_U$  – середнє значення напруги;

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  – отримані значення з екрану дозиметра ДРЦ-01 за трьома вимірами А, Б, В.

Після знаходження середнього значення напруги, знаходиться значення відхилення від середнього значення за формулою (4.7):

$$n_{\text{откл.2}} = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n}_U)^2}, \quad (4.7)$$

де  $n_{\text{откл.2}}$  – значення відхилення від середнього значення;

$\bar{n}_U$  – середнє значення напруги за  $n$  періодів;

$n_i$  – значення  $i$  періоду.

Після знаходження значення відхилення від середнього значення, знаходиться відношення середнього відхилення до середнього значення напруги за формулою (4.8):

$$U = \frac{n_{\text{откл.}}}{\bar{n}_U}, \quad (4.8)$$

де  $U$  – відхилення напруги.

Якщо значення  $U$  менше 10%, то приймається результат, що  $U$  в нормі, а якщо  $U$  вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На шостому етапі контролюється  $P_d$ , якщо значення  $P_d$  менше 0,87 мГр/год, то приймається результат, що  $P_d$  в нормі, а якщо  $P_d$  вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На сьомому етапі розраховується  $R_t$  за формулами (4.9-4.10): Знаходиться  $\bar{n}_R$  за формулою (4.9):

$$\bar{n}_R = \frac{1}{3} \times (n_1 + n_2 + n_3), \quad (4.9)$$

де  $\bar{n}_R$  – середнє значення радіаційного виходу;

$n_1, n_2, n_3$  – отримані значення радіаційного виходу з екрану дозиметра ДРЦ-01.

Знаходиться  $R_t$  за формулою (4.10):

$$R_t = \frac{\bar{n}_R}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4 \times z_5} \times 10^{-3}, \quad (4.10)$$

де  $R_t$  – радіаційний вихід;

$\bar{n}_R$  – середнє значення радіаційного виходу;

$z_2$  – значення, площі іонізаційної камери дозиметра ДРЦ-01, яке дорівнює 225;

$z_3$  – коефіцієнт, що відноситься до рентгенівського випромінювання, який дорівнює 114;

$z_4$  – задане значення уставки току, яке дорівнює 90;

$z_5$  – задане значення уставки часу експозиції, яке дорівнює 0,1;

$10^{-3}$  – переклад отриманного значення з Р/мА\*с в мР/мА\*с.

Значення Pt має бути в межах від 1,5 мР/мА\*с до 21 мР/мА\*с, відповідно до рекомендацій інституту С.П.Григор'єва АМН України.

Схема програми розробленого модулю аналізу дозоформуючих параметрів РДК приведена в додатку Г.

#### 4.2 Метод контролю електро-технічних параметрів рентгенівських діагностичних комплексів

Метод контролю електро-технічних параметрів РДК полягає в наступному.

На першому етапі контролюється Zvd, якщо випробувальний щуп-предмет не проникає в отвори, то приймається результат, що Zvd в нормі, а якщо випробувальний щуп-предмет проникає в отвори, то приймається результат Zvd не в нормі, необхідна корекція.

На другому етапі контролюється Rz, якщо значення Rz менше 0,2 Ом, то приймається результат, що Rz в нормі, а якщо Rz вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На третьому етапі контролюється Emi, якщо ізоляція, яка випробується, витримала протягом 1 хвилини випробувальну напругу 3000 В без пробою та перекриття ізоляції, то приймається результат, що Emi в нормі, а якщо ізоляція, яка випробується, не витримала протягом 1 хвилини випробувальну напругу 3000 В без пробою та перекриття ізоляції, то приймається результат Emi не в нормі, необхідна корекція.

На четвертому етапі контролюється UF1 для РДК – 380 В, якщо значення UF1 менше 418 В, то приймається результат, що UF1 в нормі, а якщо UF1 вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На п'ятому етапі контролюється UF2 для РДК – 220 В, якщо значення UF2 менше 258 В, то приймається результат, що UF2 в нормі, а якщо UF2 вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

На шостому етапі контролюється  $i_s I$ , якщо значення  $i_s I$  менше 0,5 мА, то приймається результат, що  $i_s I$  в нормі, а якщо  $i_s I$  вище норми, то приймається результат, необхідна корекція.

Схема програми розробленого модулю аналізу електро-технічних параметрів РДК приведена в додатку Е.

#### 4.3 Розробка модулів аналізу параметрів рентгенівських діагностичних комплексів

Програмна реалізація розробленої системи контролю параметрів РДК здійснювалася за допомогою системи MATLAB. [28].

Цей вибір обґрунтований наступними перевагами MATLAB, які вигідно виділяють її серед існуючих математичних систем і пакетів (MathCad, Mathematica і інш.):

- система MATLAB спеціально створена для проведення саме інженерних розрахунків: математичний апарат, який використовується нею, гранично наближений до сучасного математичного апарату інженера і вченого;
- на відміну від більшості математичних систем, MATLAB є відкритою системою. Це означає, що практично всі процедури і функції MATLAB доступні не тільки для використання, але і для корекції і модифікації.;
- дуже зручна можливість, як складати, власні окремі програми з метою багаторазового їх використання для досліджень, так і застосовувати практично всі обчислювальні можливості системи в режимі надзвичайно потужного наукового калькулятора;
- система MATLAB легко інтегрується з текстовим редактором Word, що дає можливість використовувати при складанні текстових документів обчислювальні і графічні засоби MATLAB.

Можливості системи величезні, а за швидкістю виконання завдань вона випереджає багато інших подібних систем. Всі ці особливості роблять систему MATLAB вельми привабливою для використання в навчальному процесі вищих навчальних закладів. [29].

Вікно системи MATLAB з текстом програми, що реалізує в пункті 4.1 метод контролю дозоформуєчих параметрів РДК, представлено на рис.4.1 та 4.2.

```

1 - clear
2 - clc
3 - R=input ('Введите полученное значение разрешающей способности=');
4 - if R>1.6
5 - disp('Разрешающая способность в норме')
6 - disp('-----')
7 - elseif R<1.6
8 - disp('Разрешающая способность ниже нормы, необходима коррекция')
9 - disp('-----')
10 - end
11
12 - z1=input(['Введите полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ-01=']);
13 - z2=225;
14 - disp('Пороговый контраст=')
15 - P=(z1/z2)*10^(-6)
16 - if P>3.25
17 - disp('Пороговый контраст в норме')
18 - disp('-----')
19 - elseif P<3.25
20 - disp('Пороговый контраст ниже нормы, необходима коррекция')
21 - disp('-----')
22 - end

```

Рисунок 4.1 – Вікно системи MATLAB з текстом програми для контролю розподільчої здатності та граничного контрасту

```

24 - Dmax=input(['Введите максимальное полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
25 - Dmin=input(['Введите минимальное полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
26 - disp('-----')
27 - disp('Динамический диапазон=')
28 - D=(Dmax/Dmin)
29 - if D>50
30 - disp('Динамический диапазон в норме')
31 - disp('-----')
32 - elseif D<50
33 - disp('Динамический диапазон ниже нормы, необходима коррекция')
34 - disp('-----')
35 - end
36
37 - n1=input(['Введите 1е полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
38 - n2=input(['Введите 2е полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
39 - n3=input(['Введите 3е полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
40 - n4=input(['Введите 4е полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
41 - n5=input(['Введите 5е полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=']);
42 - disp('-----')
43 - disp('Среднее значение дозы=')

```

Рисунок 4.2 – Вікно системи MATLAB з текстом програми для контролю динамічного діапазону та середнього значення дози

Результати роботи синтезованого програмного коду представлені на рис. 4.3.

```

Введите полученное значение разрешающей способности=1.8
Разрешающая способность в норме
-----
Введите полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ-01=0.008
Пороговый контраст=

P =

    3.5556e-11

Пороговый контраст ниже нормы, необходима коррекция
-----
Введите максимальное полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=0.071
Введите минимальное полученное значение с экрана дозиметра ДРЦ - 01=0.005
-----
Динамический диапазон=

D =

    14.2000

Динамический диапазон ниже нормы, необходима коррекция

```

Рисунок 4.3 – Вікно системи MATLAB з результатом роботи синтезованого програмного коду

Лістинг програми розробленого модулю аналізу дозоформуєчих параметрів РДК приведено в додатку Д

Вікно системи MATLAB з текстом програми, що реалізує в пункті 4.2 метод контролю електро-технічних параметрів РДК, представлено на рис.4.4 та 4.5.

```

1 - clear
2 - clc
3 - Rz=input ('Введите полученное значение сопротивления заземления=');
4 - if Rz<0.2
5 - disp('Сопротивление заземления в норме')
6 - elseif Rz>0.2
7 - disp('Сопротивление заземления выше нормы, необходима коррекция')
8 - disp('--- --- --- --- --- --- --- --- --- ---')
9 - end
10
11 - UF1=input ('Введите полученное значение напряжения=');
12 - if UF1<418
13 - disp('Напряжение в норме')
14 - elseif UF1>418
15 - disp('Напряжение выше нормы, необходима коррекция')
16 - disp('--- --- --- --- --- --- --- --- --- ---')
17 - end

```

Рисунок 4.4 – Вікно системи MATLAB з текстом програми для контролю опору заземлення та напруги

```

19 - UF2=input ('Введите полученное значение напряжения=');
20 - if UF2<258
21 - disp('Напряжение в норме')
22 - elseif UF2>258
23 - disp('Напряжение выше нормы, необходима коррекция')
24 - disp('--- --- --- --- --- --- --- --- --- ---')
25 - end
26
27 - isI=input ('Введите полученное значение истинной среднеквадратической величины силы тока=');
28 - if isI<0.5
29 - disp('Истинная среднеквадратическая величина силы тока в норме')
30 - elseif isI>0.5
31 - disp('Истинная среднеквадратическая величина силы тока выше нормы, необходима коррекция')
32 - disp('--- --- --- --- --- --- --- --- --- ---')
33 - end

```

Рисунок 4.5 – Вікно системи MATLAB з текстом програми для контролю напруги та істинної середньоквадратичної величини струму

Результати роботи синтезованого програмного коду представлені на рис. 4.6.

```

Введите полученное значение сопротивления заземления=0.2
Введите полученное значение напряжения=388
Напряжение в норме
Введите полученное значение напряжения=265
Напряжение выше нормы, необходима коррекция
--- --- --- --- --- --- --- --- --- ---
Введите полученное значение истинной среднеквадратической величины силы тока=0.4
Истинная среднеквадратическая величина силы тока в норме

```

Рисунок 4.6 – Вікно системи MATLAB с результатом работы синтезованого програмного коду

Лістинг програми розробленого модулю аналізу електро-технічних параметрів РДК приведен в додатку Ж.

## ВИСНОВКИ

В ході атестаційної роботи було вирішено актуальну науково-технічну задачу автоматизації засобів контролю дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК.

1. Показано, що для ефективного та безпечного контролю стану РДК необхідна автоматизація процесів моніторингу та оцінки стану РДК.

2. Проведено аналітичний огляд методів та засобів моніторингу стану РДК, в результаті виявлено найбільш суттєві параметри, що відображають як стан РДК в цілому, так і його окремих частин.

3. Запропонована структурна схема системи контролю дозоформуєчих та електро-технічних параметрів РДК, що дозволяє мінімізувати функцію людини-оператора в процесі моніторингу стану РДК.

4. Розроблено програмний модуль аналізу дозоформуєчих параметрів РДК, що надає можливість автоматичного контролю відповідних параметрів РДК та дозволяє мінімізувати негативний вплив на людину-оператора.

5. Розроблено програмний модуль аналізу електро-технічних параметрів РДК, що дозволяє зменшити вплив людського фактору на результати вимірювання.

6. Результати роботи були опубліковані в тезах для:

- конференції «Інформаційні системи та технології в медицині»;
- XXIII міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті».

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Рентген легких или флюорография. Показания к проведению, особенности исследований и оценка их безвредности [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://www.kp.ru/guide/rentgen-legkikh.html>
2. Чим відрізняється флюорографія від рентгену: що потрібно знати пацієнту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dobrobut.com/ua/library/c-cem-otlicaetsa-fluorografia-ot-rentgena-cto-nuzno-znat-pacientu>
3. Рентгенодиагностика. 1.1. Принцип рентгенодиагностики [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [https://studopedia.su/19\\_55107\\_rentgenodiagnostika.html](https://studopedia.su/19_55107_rentgenodiagnostika.html)
4. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Системи медичної візуалізації", підготовки бакалавра, спеціальність 163 - Біомедична інженерія / ХНУРЕ; розроб. Л. О. Авер'янова – Харків, 2017. – 283 с.
5. Действие на человека рентгеновского излучения [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://otravlen.net/dejstvie-na-cheloveka-rentgenovskogo-izlucheniya>
6. Основы и принципы лучевой диагностики: Учеб-метод. пособие / А. И. Алешкевич [и др.]. – Минск: БГМУ, 2015. – 86 с.
7. Рентгеновское излучение [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://students.by/articles/23/1002325/1002325a1.html>
8. Хофер М. Компьютерная томография. / М. Хофер. – М.: Медицинская литература, 2011 – 208 с.
9. Рентгенография [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгенография>

10. Пушаровский Д. Ю. Рентгенография минералов / Д. Ю. Пушаровский – М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2000 – 288 с.
11. Рентгеноскопия [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рентгеноскопия>
12. Основы и принципы лучевой диагностики: Учеб-метод. пособие / А. И. Алешкевич – Минск: БГМУ, 2015. – 86 с
13. Патент України 20957 МКПЗ 24-01. Рентгенівський діагностичний комплекс / Санін О. І., заявник і власник патенту Харків. № 201000611; заявл. 07.05.2010, опубл. 11.10.2010, Бюл. №19 – 1 с.
14. Патент України 29844 МКПЗ 24-01. Апарат рентгенодіагностичний пересувний / Оратовський В. П., заявник і власник патенту Харків. № 201500471; заявл. 31.03.2015, опубл. 10.07.2015, Бюл. №13 – 1 с.
15. Разрешающая способность [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Разрешающая\\_способность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Разрешающая_способность)
16. Рентгеновские фильтры [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [http://www.medical-enc.ru/16/x-ray\\_filters.shtml](http://www.medical-enc.ru/16/x-ray_filters.shtml)
17. ГОСТ 26141 – 84. Усилители рентгеновского изображения медицинских рентгеновских аппаратов. Общие технические требования. Методы испытаний. – Введ. 1985.30.06. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2001 – 27 с.
18. Дозиметр ДРЦ-01 [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: [http://med.kvants.com/ru/oborudovanie/medicinskoe\\_oborudovanie/oborudovanie\\_dlja\\_rentgen\\_kabinetov/dozimetr\\_drc-1.html](http://med.kvants.com/ru/oborudovanie/medicinskoe_oborudovanie/oborudovanie_dlja_rentgen_kabinetov/dozimetr_drc-1.html)
19. Динамический диапазон и его практическое значение [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.xela.ru/dinamicheskij-diapazon-i-ego-prakticheskoe-znachenie>
20. Дозиметр ДКС-АТ1123 [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.ntcexpert.ru/rk/dozimetry/917-dozimetr-portativnyj-dks-at1121-dks-at1123>

21. Щуп-предмет [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/emergency/3884/>
22. Щуп [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://shop.cleverlabs.ru/catalog/ispitatelnoe\\_oborudovanie/gost-rmek-14254/223/](https://shop.cleverlabs.ru/catalog/ispitatelnoe_oborudovanie/gost-rmek-14254/223/)
23. Як визначити опір заземлення [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://dovidkam.com/remont/elektrika/yak-viznachiti-opir-zazemlennya.html>
24. EurotestXE MI 3102H BT MI 3102H SE Руководство по эксплуатации – Санкт-Петербург: ООО «Евротест», 2013. – 133 с.
25. Електрична міцність [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Електрична\\_міцність](https://ru.wikipedia.org/wiki/Електрична_міцність)
26. УПУ-10 - Установка пробойная универсальная [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <https://etalonpribor.com.ua/upu-10-ustanovka-proboinaya-univercal-naya.html>
27. УПУ-10 Пробойная установка [Электронный ресурс] – Режим доступа к ресурсу: <http://www.pribortehsnab.ru/catalog/test-sets/upu-10-1.html>
28. Дьяков В.П. MATLAB 6: Учебный курс / В. П. Дьяков – М.: ДМК, 2001 – 592 с.
29. Васильев А. Н. «Matlab. Практический подход» / А. Н. Васильев – М.: Наука и Техника, 2015 – 448 с.