



**Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики,  
робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної  
інженерії та електротехніки**

**РЕНТГЕНІВСЬКІ СИСТЕМИ ЯК ЗАСІБ ДІАГНОСТИКИ  
СТАНУ ПАЦІЄНТІВ**

**Методичні вказівки  
до практичних занять з дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання  
зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**Харків 2025**

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки**

## **РЕНТГЕНІВСЬКІ СИСТЕМИ ЯК ЗАСІБ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПАЦІЄНТІВ**

Методичні вказівки  
до практичних занять з дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання зі спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено  
рішенням Науково-  
методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Протокол № 2  
від 26.12.2024 р.

Харків  
2025

**УДК 637.6/.8:616-073.7-71](072)  
Р 39**

Схвалено

на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки

Протокол №6 від 04.12.2024 р.

**Рецензенти:**

*О. Г. Аврунін*, докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки;

*О. М. Мороз*, докт. техн. наук, проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету

**Р 39** Рентгенівські системи як засіб діагностики стану пацієнтів: метод. вказівки до практичних занять з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми навчання зі спец. 163 «Біомедична інженерія» / Держ. біотехнологічний ун-т; авт.-уклад.: Н. Г. Косуліна, Г. А. Ляшенко, Н. В. Полянова. – Харків : [б. в.], 2025. – 40 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальних дисциплін: «Системи біомедичної візуалізації», «Біомедичні прилади та інформаційно-вимірювальні системи». Видання включає теоретичну частину, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

**УДК 637.6/.8:616-073.7-71](072)**

**Відповідальний за випуск : Н. Г. Косуліна, д-р техн. наук**

© Косуліна Н. Г., Ляшенко Г. А.,

Полянова Н. В. 2025

© ДБТУ, 2025

# РЕНТГЕНІВСЬКІ СИСТЕМИ ЯК ЗАСІБ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ПАЦІЄНТІВ

## 1. ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПРОМЕНЕВОЇ ДІАГНОСТИКИ

Методи рентгенодіагностики набули найбільшого поширення серед всіх променевих методів і до теперішнього часу займають лідируючі позиції за кількістю досліджень. Саме вони, як і раніше, є основою для діагностики травматичних пошкоджень і захворювань скелета, хвороб легенів, травного тракту та ін. Це пов'язано з відносно невисокою ціною рентгенівських апаратів, простотою, надійністю і вже давно сформованою традиційною школою рентгенології. Практично всі фахівці в тій чи іншій мірі стикаються з необхідністю інтерпретації рентгенівських знімків.

Ультразвукові, магнітно-резонансні та ізотопні дослідження розвинулися до рівня корисних для медичної практики методів діагностики в 70-80 роках ХХ сторіччя, в той час як рентгенівське випромінювання було відкрито і знайшло застосування в медицині ще в кінці ХІХ сторіччя.

### *Вільгельм Конрад Рентген і його X-промені*

У 1894 році професор фізики Вюрцбургського університету Вільгельм Конрад Рентген (рис. 1) приступив до експериментальних досліджень електричного заряду в вакуумних трубках. У цій області вже багато було зроблено іншими дослідниками (цим питанням займалися французький фізик Антуан-Филибер-Массон, англійський фізик Уильям Крукс та німецький фізик Філіп фон Ленард).

8 листопада 1895 року В.К. Рентген працював у своїй лабораторії з електровакуумної трубкою, на яку подавався струм високої напруги.

Щоб полегшити спостереження, Рентген затемнив кімнату і обернув трубку щільним непрозорим чорним папером. На свій подив, він побачив на стоячому на деякій відстані екрані, покритому платиноціаністим барієм, смугу флюоресценції. Подив його був пов'язаний з тим, що на той момент вже було відомо, що катодні промені були короткодіючими і могли викликати світіння речовини тільки поблизу трубки. В даному ж випадку мова йшла про вплив на відстані близько двох метрів. Рентген ретельно проаналізував і перевірів можливість помилки і переконався, що джерелом

випромінювання є саме вакуумна трубка, а не частина ланцюга або індукційна котушка. Флюоресценція з'являлася щоразу тільки при включенні трубки.

Тоді В.К. Рентген припустив, що світіння екрана пов'язано не з катодними променями, а з іншим видом променів, раніше невідомих, які здатні впливати на значній відстані. Ці промені він так і назвав - X-промені (невідомі промені). Наступні сім тижнів Рентген не виходив зі своєї лабораторії, проводячи дослідження з новим видом невідомих або X-променів.

Широкої популярності набула виконана Рентгеном за допомогою X-променів фотографія кисті дружини Берти Рентген, виконана 22 грудня 1895 роки (рис. 2).



Рис. 1. Вільгельм Конрад Рентген (1845-1923)



Рис. 2. Рентгенівський знімок Берти Рентген, виконаний 22 грудня 1895 р.

На ній чітко видно кістки на тлі зображення м'яких тканин (затримують X-промені в меншій мірі) і тінь від кільця на пальці. Фактично це була перша рентгенограма в історії. За дуже короткий відрізок часу Рентген вивчив і описав всі основні властивості нових X-променів.

Рентген став першим (1901 г.) лауреатом Нобелівської премії з фізики «на знак визнання надзвичайно важливих заслуг перед наукою, що виразилися у відкритті чудових променів, названих згодом в його честь». Рішенням I Міжнародного з'їзду по рентгенології в 1906 р. X-промені були названі рентгенівськими.

*Основні властивості рентгенівського випромінювання.*

*Рентгенівська апаратура*

Рентгенівське випромінювання являє собою електромагнітні хвилі (потік квантів, фотонів), які в загальнохвильовому спектрі розташовані між ультрафіолетовими променями і  $\gamma$ -променями. Вони відрізняються від радіохвиль, інфрачервоного випромінювання, видимого світла та ультрафіолетового випромінювання меншою довжиною хвилі (рис. 3). Довжина хвилі рентгенівських променів ( $\lambda$ ) становить від 10 нм до 0,005 нм ( $10^{-9}$ - $10^{-12}$  м).

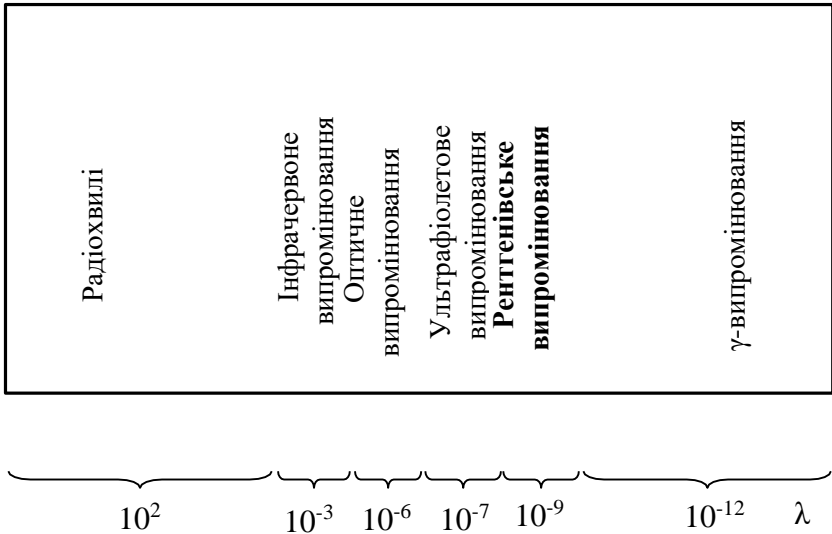


Рис. 3. Положення рентгенівського випромінювання в загальному спектрі електромагнітних випромінювань

Оскільки рентгенівські промені є електромагнітними хвилями, крім довжини хвилі, вони можуть бути описані частотою і енергією, які несе кожен квант (фотон). Фотони рентгенівського випромінювання мають енергію від 100 еВ до 250 кеВ, що відповідає випромінюванню з частотою від  $3 \times 10^{16}$  Гц до  $6 \times 10^{19}$  Гц. Швидкість поширення рентгенівських променів дорівнює швидкості світла – 300000 км / с.

Основними властивостями рентгенівських променів є:

- 1) висока проникаюча здатність;
- 2) поглинання і розсіювання;
- 3) прямолінійність поширення – рентгенівське зображення завжди точно повторює форму досліджуваного об'єкта;
- 4) здатність викликати флюоресценцію (світіння) при проходженні через деякі речовини – ці речовини називаються люмінофорами і вони використовуються при проведенні рентгеноскопії і флюорографії;
- 5) фотохімічні дію – як і видиме світло рентгенівські промені, потрапляючи на фотографічну емульсію, здатні впливати на неї, викликаючи хімічну реакцію відновлення срібла – на цьому заснована реєстрація зображення на фоточутливих матеріалах;
- 6) іонізація речовин – здатність викликати розпад нейтральних атомів на позитивні і негативні іони;
- 7) біологічну дію – пов'язана з іонізуючою дією рентгенівських променів на тканини організму, цим визначається небажаний, негативний вплив на пацієнта, лікаря-рентгенолога та рентген-лаборанта;
- 8) несприйнятливість органами почуттів – в цьому полягає прихована небезпека, оскільки людина не відчуває моменту впливу рентгенівського випромінювання (як і будь-якого іншого випромінювання).

Будь-яка рентгенодіагностична система складається з трьох основних компонентів: рентгенівської трубки, об'єкта дослідження (пацієнта) і приймача рентгенівського зображення (рис. 4).

Рентгенівська трубка являє собою вакуумну скляну колбу, в яку впаяні з двох протилежних кінців два електроди – анод і катод. Катод являє собою тонку спіраль, анод – диск зі скошеною поверхнею в місці попадання на нього електронів (рис. 4).

Отримання рентгенівських променів можна розділити на наступні етапи (рис. 4):

- 1) термоелектронна емісія на спіралі катода – відбувається при включенні струму низької напруги (ланцюг  $U_1$ , напруга всього лише 6-14 Вольт), при цьому нитка катода нагрівається, і навколо нього утворюються вільні електрони або «електронна хмара»;

- 2) подача на електроди струму високої напруги (ланцюг  $U_2$ , напруга десятки і сотні кіловольт) – в цей момент вільні електрони спрямовуються до анода і з великою силою вдаряються об його поверхню, і відбувається їх гальмування, при цьому кінетична енергія цих електронів перетворюється здебільш в теплове випромінювання

(понад 95%); для того, щоб оберегти анод від перегрівання (розплавлення), він обертається з великою швидкістю;

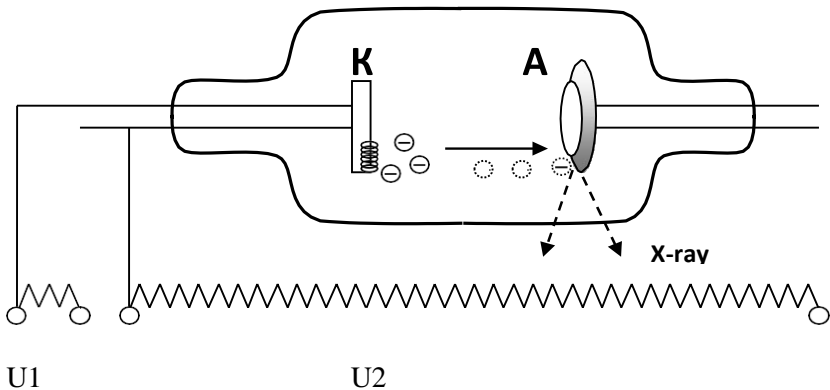


Рис. 4. Схема пристрою рентгенівської трубки, де:  
К – катод; А – анод; U1 – ланцюг низької напруги; U2 – ланцюг високої напруги; стрілка суцільна – рух електронів від катода до анода; стрілки переривчасті – рентгенівські промені.

3) отримання пучка рентгенівських променів – лише кілька відсотків від усієї кількості енергії, що утворилася внаслідок гальмування електронів об анод, перетворюється в рентгенівське випромінювання.

Довжина хвилі отриманих рентгенівських променів залежить від швидкості електронів – чим більше швидкість, тим довжина хвилі менше, при цьому проникаюча здатність променів буде збільшуватися. Якщо змінювати напругу трансформатора, можна регулювати швидкість електронів і отримувати або сильно проникаючі короткохвильові промені (їх називають ще жорсткими), або слабо проникаючі довгохвильові (м'які).

Рентгенівське випромінювання, отримане при гальмуванні електронів на поверхні анода, називається *гальмівним* або *первинним*.

Існує ще інший вид рентгенівського випромінювання – *характеристичне* або *вторинне*. Характеристичне випромінювання виникає в результаті змін у внутрішніх електронних шарах атомів. З метою діагностики характеристичне випромінювання не використовується, по-перше – це випромінювання знаходиться в діапазоні «м'якого» рентгенівського випромінювання, по-друге – його



не можна змінювати, а в рентгенодіагностиці необхідно в кожному конкретному випадку обирати певні параметри рентгенівських променів в залежності від завдань дослідження.

При взаємодії рентгенівського випромінювання і об'єкта дослідження (пацієнта) випромінювання змінюється якісно і кількісно. 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 (тобто «затримуються») рентгенівські промені. У тілі людини є органи і тканини різної щільності, такі як кістки, м'які тканини, легені та ін., що і пояснює різне поглинання рентгенівських променів. Крім того, ступінь поглинання променів також визначається і об'ємом (товщиною) органу (тобто прохідною відстанню в тканинах рентгенівських променів).

Як приймач рентгенівського зображення використовуються:

- флуоресцентний екран;
- рентгенівська плівка;
- спеціальні детектори – цифрові електронні панелі (при цифровій рентгенографії).

## 2. МЕТОДИ РЕНТГЕНОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

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

*Променеві методи дослідження.*

*Основні рентгенологічні методи дослідження*

До основних методів належать *рентгеноскопія, рентгенографія і флюорографія.*

**Рентгеноскопія** (грец. Scopeo – розглядати, спостерігати) – метод рентгенологічного дослідження, при якому зображення об'єкта одержують на флуоресціюючому екрані. При цьому дослідженні пучок рентгенівських променів, що генеруються рентгенівською трубкою, проходить через тіло пацієнта, потрапляє на

флуоресціюючий екран і формує на ньому позитивне тіньове зображення (рис. 5).

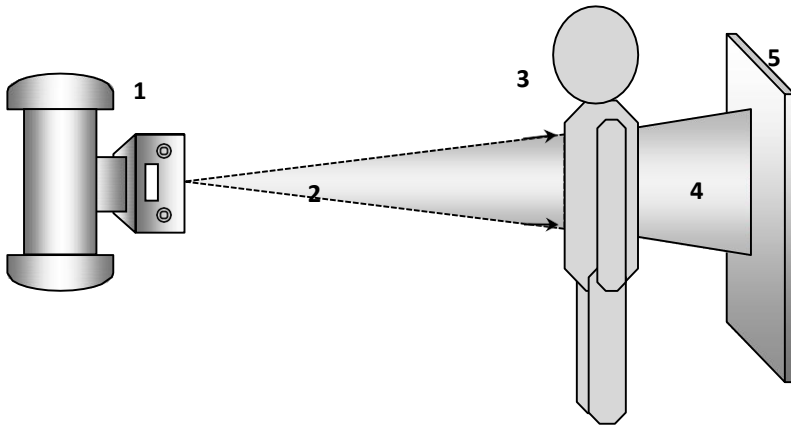


Рис. 5. Схема рентгеноскопії, де:  
1 – рентгенівська трубка; 2 – вихідний пучок рентгенівських променів; 3 – пацієнт; 4 – рентгенівські промені, які пройшли через пацієнта; 5 – флуоресціюючий екран.

Дане дослідження ще називають просвічуванням. В основному застосовується для дослідження грудної порожнини і черевної порожнини.

Перевагами методу є простота і економічність, можливість багатоосового і поліпозиційного дослідження, тобто дослідження в різних проекціях і положеннях пацієнта, можливість оцінки анатомо-морфологічних і функціональних особливостей досліджуваних органів в режимі реального часу.

До основних недоліків рентгеноскопії відносяться відносно високе променеве навантаження і відносно низька роздільна здатність (труднощі в диференціації дрібних структур і невеликих змін).

Світіння флуоресцентного екрану досить слабке, тому раніше рентгеноскопію проводили в темряві. При цьому якість одержуваного зображення була досить низькою.

В даний час в якості удосконаленого методу рентгеноскопії застосовують метод рентгенотелебачення – просвічування за допомогою системи електронно-оптичного перетворювача (ЕОП) і

телевізійної системи. В ЕОП видиме зображення на флуоресціюючому екрані посилюється і перетворюється в електричний сигнал, який відображається на телевізійному моніторі. Таке рентгенівське зображення можна вивчати в звичайному освітленому приміщенні. Променеве навантаження на пацієнта і персонал при застосуванні ЕОП значно менше. Телевізійна система дозволяє записати проведене дослідження, що особливо важливо для вивчення рухів органів.

Для кращої оцінки дрібних деталей, об'єктивізації результатів дослідження і динамічного спостереження за пацієнтом рентгеноскопія часто доповнюється серією знімків.

Необхідно відзначити, що останнім часом з'явилися нові технології, які дали можливість замінити флуоресціюючий екран на систему цифрових детекторів (матрицю) і дозволили застосувати цифрові технології в даному виді дослідження. Про них ми будемо говорити трохи пізніше.

*Рентгенографія* (грец. *Grapho* – писати, зображати) – метод рентгенологічного дослідження, при якому отримують зображення досліджуваного об'єкта на плівці (пряма або аналогова рентгенографія) або на спеціальних цифрових пристроях (цифрова рентгенографія). Зображення статичні - на відміну від рентгеноскопії, де отримують динамічне зображення в режимі реального часу.

Рентгенівська плівка складається з нітроацетатної основи, покритої тонким шаром емульсії – желатином, який містить дрібні частинки кристалів галогеніду срібла в збудженому (незасвіченому) стані. Зберігають рентгенівську плівку в спеціальній світлонепроникній коробці, яку розкривають в повній темряві, тому що емульсія чутлива не тільки до рентгенівських променів, але і до денного світла. Перед проведенням дослідження в затемненій лабораторії (яку має кожен рентгенівський кабінет) плівку поміщають в спеціальну касету.

Касета (рис. 6) являє собою плоску коробку, до внутрішніх сторін якої прикріплені картонні пластини, покриті флуоресціюючою речовиною. Вони називаються підсилюючими екранами і служать для кращого «засвічування» плівки, яка знаходиться між ними – це дозволяє значно знизити кількість рентгенівського випромінювання, необхідного для отримання зображення досліджуваного об'єкта, і таким чином зменшити дозу опромінення на пацієнта.

Отже, при рентгенографії рентгенівські промені проходять через пацієнта, потрапляють на рентгенівську плівку, де збуджують

кристалики галогеніда срібла і утворюють приховане зображення.

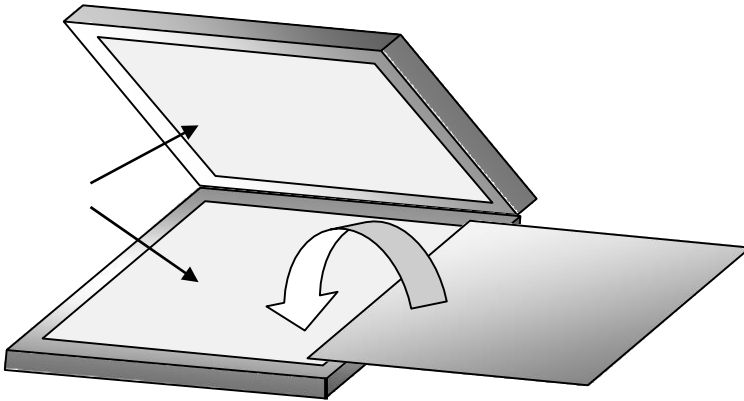


Рис. 6. Касета (1) і рентгенівська плівка (2), яка поміщається між двома підсилюючими екранами (3)

Отже, при рентгенографії рентгенівські промені проходять через пацієнта, потрапляють на рентгенівську плівку, де збуджують кристалики галогеніда срібла і утворюють приховане зображення.

Потім плівку дістають з касети і піддають хімічній обробці. Це так званий «ручний» процес. Слід зазначити, що в даний час в більшості установ застосовуються автоматичні системи для хімічної обробки рентгенівської плівки – проявні машини. Вони дозволяють значно прискорити процес отримання знімка і підвищити якість зображення.

Зображення на рентгенограмі дозволяє оцінити форму, положення і розміри анатомічних органів, а також оцінити їх структуру.

Можна виділити наступні переваги рентгенографії перед рентгеноскопією:

- більша роздільна здатність;
- об'єктивність рентгенограми, можливість тривалого зберігання;
- можливість оцінки багатьма фахівцями;
- зіставлення декількох зображень, тобто можливість динамічного спостереження;
- відносно невелике променеве навантаження на пацієнта.

До недоліків рентгенографії можна віднести відносно великі матеріальні витрати (рентгеновська плівка, хімічні реактиви).

Методика рентгенографії може застосовуватися у всіх лікувальних установах і в даний час є найдоступнішим методом. Рентгеновські апарати можуть використовуватися як в умовах рентгеновського кабінету, так і в палаті, реанімації, в операційній, а також в особливих умовах поза лікувальних установ.

*Флюорографія* – методика рентгенологічного дослідження, при якій виробляють фотографування зображення з флуоресцентного екрану на плівку різного формату (70x70, 100x100 і 110x110 мм). Таким чином, при флюорографії зображення завжди зменшено (рис. 7).

Основним призначенням флюорографії є масове (профілактичне) обстеження населення для виявлення приховано протікаючих захворювань легенів – профілактична флюорографія. Основними перевагами флюорографії перед рентгенографією є економія дорогої рентгеновської плівки і швидкість виконання, тобто велика пропускна здатність – на виконання однієї флюорограми витрачається в 3 рази менше часу, ніж на виконання однієї рентгенограми. Недолік – менша роздільна здатність і, відповідно, менша інформативність.

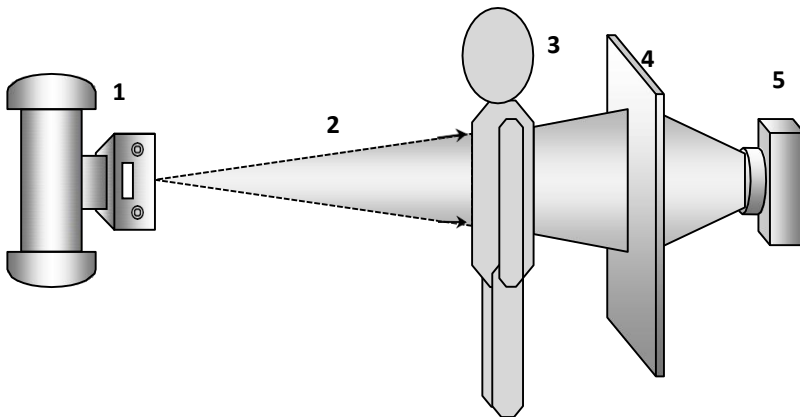


Рис. 7. Схема флюорографії, де:

- 1 – рентгенівська трубка; 2 – пучок рентгенівських променів;
- 3 – пацієнт; 4 – флуоресцентний екран; 5 – апарат для фотографування з екрану.

Флюорографічні апарати досить компактні, їх можна монтувати на кузов вантажного автомобіля. Це робить можливим масове обстеження населення в місцях, де рентгенодіагностична апаратура відсутня.

Хоча за інформативністю флюорографія поступається рентгенографії, але при використанні багатокадрових флюорограм відмінності між методиками стають менш суттєвими. Тому в лікувальних установах у пацієнтів із захворюваннями органів дихання, особливо при повторних дослідженнях, часто рентгенографію замінюють флюорографією. Таку флюорографію називають діагностичною.

Останнім часом плівкову флюорографію все більше витісняє цифрова флюорографія. Назва «цифровий флюорограф» є в достатній мірі умовною, тому що в цих апаратах не проводиться фотографування зображення з флуоресцентного екрану на плівку, тут екран замінений детекторами – цифровою матрицею. По суті ці флюорографи є цифровими рентгенографічними апаратами.

### 3. РЕНТГЕНІВСЬКІ АПАРАТИ

#### *Будова рентгенівського апарату*

Рентгенівський діагностичний апарат (РДА) – обладнання для одержання і застосування рентгенівських променів. Рентгенівські апарати працюють від мережі змінного електричного струму.

#### *Класифікація рентгенівських апаратів (РА)*

Рентгенівські апарати за **призначенням** поділяють на діагностичні та терапевтичні. Діагностичні апарати бувають стаціонарні, пересувні та переносні (портативні).

Діагностичні рентгенівські апарати забезпечуються пристроями для томографії, кімографії, електрокімографії та інших спеціальних методів дослідження, а також електронно-оптичним підсилювачем рентгенівського зображення, що дозволяє проводити рентгенокінозйомку, телевізійну передачу рентгенівського зображення і забезпечують високу яскравість зображення при значному зниженні променевого навантаження.

Для дослідження окремих фаз швидкоплинних процесів є спеціальні РА, які дозволяють виробляти рентгенівську зйомку при витримках, що складають тисячні частки секунд. Це досягається не

шляхом збільшення потужності (а отже, і габаритів) РА, а за допомогою системи конденсаторів, які заряджаються від порівняно малопотужного трансформатора до необхідної напруги і потім у потрібний момент миттєво розряджаються на рентгенівську трубку (так звані імпульсні рентгенівські апарати). Крім того, існують пристосування до звичайних діагностичних РА у вигляді приставок, що дозволяють проводити зйомку фізіологічно рухомих об'єктів (легені, серце) у наперед задану фазу діяльності, наприклад у фазу вдиху або видиху або в певну фазу серцевої діяльності.

Терапевтичні рентгенівські апарати застосовують для променевої терапії. З впровадженням в клінічну практику штучних радіоактивних ізотопів і різного роду прискорювачів заряджених частинок, лінійних прискорювачів, бетатронів, синхротронів, синхрофазотронів та ін. роль власне рентгенотерапії дещо звузилася, і в даний час вона застосовується для променевого впливу на патологічні вогнища порівняно неглибокого розташування.

В залежності від глибини розташування опромінюваного вогнища застосовують апарати для поверхневої рентгенотерапії і для статичної глибокої терапії.

Існують терапевтичні РА не тільки для статичного, а й для так званого рухомого опромінення (методи ротаційної і конвергентної рентгенотерапії).

Крім того, випускаються рентгенівські апарати для ротаційної і конвергентної рентгенотерапії, у яких під час променевого впливу трубка автоматично переміщається по заздалегідь заданому шляху так, щоб основний пучок випромінювання був постійно спрямований на патологічний осередок, а навколишні його тканини і область шкіри потрапляли під вплив променів поперемінно. Це дає змогу, щадячи шкіру і здорові тканини, підвести до вогнища більші дози рентгенівського випромінювання, ніж за статичних методів опромінення.

Сучасні терапевтичні РА, як і діагностичні, забезпечені рядом спеціальних пристосувань і пристроїв, що автоматизують їх роботу. Поряд з апаратами для терапії зі звичайними автоматичними реле часу є РА, в яких реле часу замінено на реле дози, що представляє інтегральний дозиметр, який автоматично вимикає високу напругу при досягненні величини заздалегідь заданої дози випромінювання. Крім того, в комплект терапевтичних РА входять спеціальні набори тубусів, діафрагм, що обмежують поле опромінення, та фільтрів, що

відсіюють більш м'яку частину випромінювання і додають робочому пучку більш однорідний характер.



Рис. 8. Прилади для рентгенівської терапії

Розрізняють апарати за **типом живлення рентгенівської трубки** – безкенотронні (напівхвильові) й кенотронні.

**За характером захисту від високої напруги** рентгенівські установки розрізняють:

кабельні (висока напруга на рентгенівську трубку подається від окремо розміщеної коробки з трансформаторами через високовольтний захисний провідник, в них дроти високої напруги укладені в ізольовані високовольтні кабелі, а трубка і головний трансформатор – у заземлені металеві кожухи) і блок-апарати (в яких високовольтне обладнання разом з рентгенівською трубкою укладено в загальний заземлений металевий кожух, з якого виходять лише низьковольтні провідники). Блок-апарати зазвичай застосовують для пересувних і переносних РА, а кабельні – для стаціонарних РА.

Стаціонарні рентгенівські апарати найбільш потужні, мають масу 1500-2000 кг і більше. Ними обладнують спеціальні рентгенівські кабінети. Напруга на трубці в цих апаратах досягає 100-150 кВ, а струм трубки до 400-500 мА. Стаціонарні апарати



мають окремо розміщений пульт управління з автотрансформатором і вимірювальними приладами, коробку з трансформаторами та кенотронами, штативи з трубкою для знімків і просвічування. Для дослідження використовують медичний стаціонарний рентгенівський апарат АРД-2-110-К4, стаціонарний рентгенодіагностичний комплекс РУМ-2ОМ, рентгенівський стаціонарний діагностичний апарат РУД-145-250-1, рентгенівську стаціонарну діагностичну установку РУМ-4К.

Пересувні (палатні) рентгенівські установки легші (200-300 кг), і для їхнього встановлення не потрібне спеціальне приміщення. Потужність цих апаратів нижча за стаціонарні. Електричні параметри трубки в палатних апаратах становлять: 90-125 кВ, 25-100 мА. У пересувних рентгенівських апаратах усі частини змонтовані на штативі з колесами.

Пульт управління кріпиться на основі штатива, а високовольтний блок (коробка з трансформатором і трубкою) – на колонці штатива. Весь апарат можна легко пересувати. У деяких моделях пересувних апаратів для підвищення потужності використані селенові високовольтні випрямлячі та трубка з обертовим анодом.

Ці апарати побудовані за типом кабельних стаціонарних апаратів. Коробка з трансформаторами та селеновими стовпчиками розміщена на візку штатива, а рентгенівська трубка закріплена на його колонці.



Рис. 9. Пересувні рентгенівські установки

Переносні (портативні, чемоданні) рентгенівські апарати мають ще меншу потужність. Напруга на трубці у них не перевищує 75

кВ, а струм трубки – 15-25 мА, маса їх 40-60 кг. Переносні апарати мають невеликий розбірний штатив, на якому закріплюють високовольтний блок. Невеликий пульт управління розміщується окремо або кріпиться на штативі до муфти високовольтного блока. Ці апарати можна швидко розібрати і скласти в чемодани.

Переносні рентгенівські апарати призначені для виробництва найпростіших видів рентгенологічних досліджень в умовах швидкої і невідкладної допомоги, а також допомоги на дому. Вони малогабаритні, легкі, поміщаються у двох невеликих валізах і зазвичай пристосовані для перенесення силами 1-2 осіб.

Пересувні (мобільні) рентгенівські апарати залежно від умов використання ділять на палатні і переносні, розраховані на застосування поза лікувального закладу. До пересувних рентгенівських апаратів відносяться також апарати (РУМ-4), призначені для роботи в польових умовах. Вони зазвичай встановлюються і перевозяться на спеціально пристосованих видах автотранспорту, мають автономне живлення і приміщення для розгортання, а також власну фотолабораторію. Крім цього використовуються в спеціально обладнаних автомашинах, залізничних вагонах та на суднах морського і річкового флоту (так звані корабельні рентгенівські установки).



Рис. 10. Переносні рентгенівські апарати



Рис. 11. Пересувні (мобільні) рентгенівські апарати

До польових рентгенівських апаратів пред'являється ряд спеціальних вимог, що впливають з несприятливих і складних умов транспортування, кліматичних умов і необхідності частого монтажу і демонтажу апаратури.

Зокрема, укладальні ящики повинні бути досить герметичними, щоб захищати апаратуру від впливу пилу і вологи. Окремі частини мають бути надійно закріплені, щоб забезпечити можливість транспортування РА на автомобільному транспорті шосейними і ґрунтовими дорогами без пошкодження частин РА.

Коливання температури навколишнього повітря в межах від 40 до -40° не повинні впливати на якість роботи РА при зберіганні і транспортуванні їх в цих умовах. Монтаж і демонтаж РА повинні

здійснюватися силами обслуговуючого персоналу протягом півгодини без застосування спеціальних інструментів.

У мирний час рентгенівські апарати польового типу можуть бути використані для масових обстежень (флюорографія), а також для рентгенодіагностичної роботи у віддалених районах.



Рис. 12. Кабінет рентгенодіагностики

**Рентгенівський діагностичний апарат** складається з генератора рентгенівського випромінювання (рентгенівська трубка), джерела живлення (високовольтного (підвищуючого) і низьковольтного (понижуючого) трансформаторів), штатива, приймача випромінювання, пристроїв, що формують рентгенівське зображення та пульту керування.

Принципова схема влаштування рентгенівського апарата наведена на рис. 13.

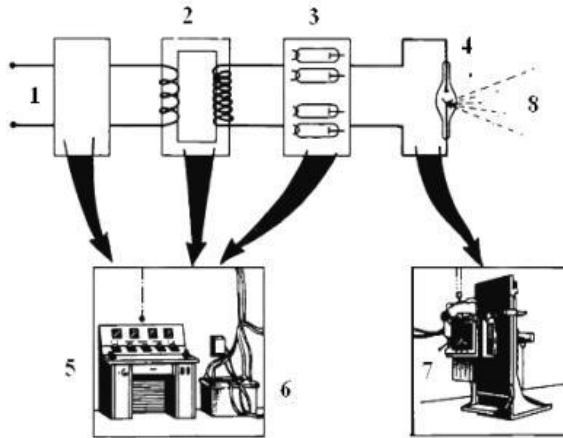


Рис. 13. Принципова схема будови рентгенівського апарата, де:  
 1 – електромережа; 2 – трансформатор; 3 – система випрямлячів;  
 4 – рентгенівська трубка; 5 – пульт керування; 6 – блок живлення;  
 7 – штатив, 8 – рентгенівське випромінювання.



Рис. 14. Складові частини кабінету рентгенодіагностики

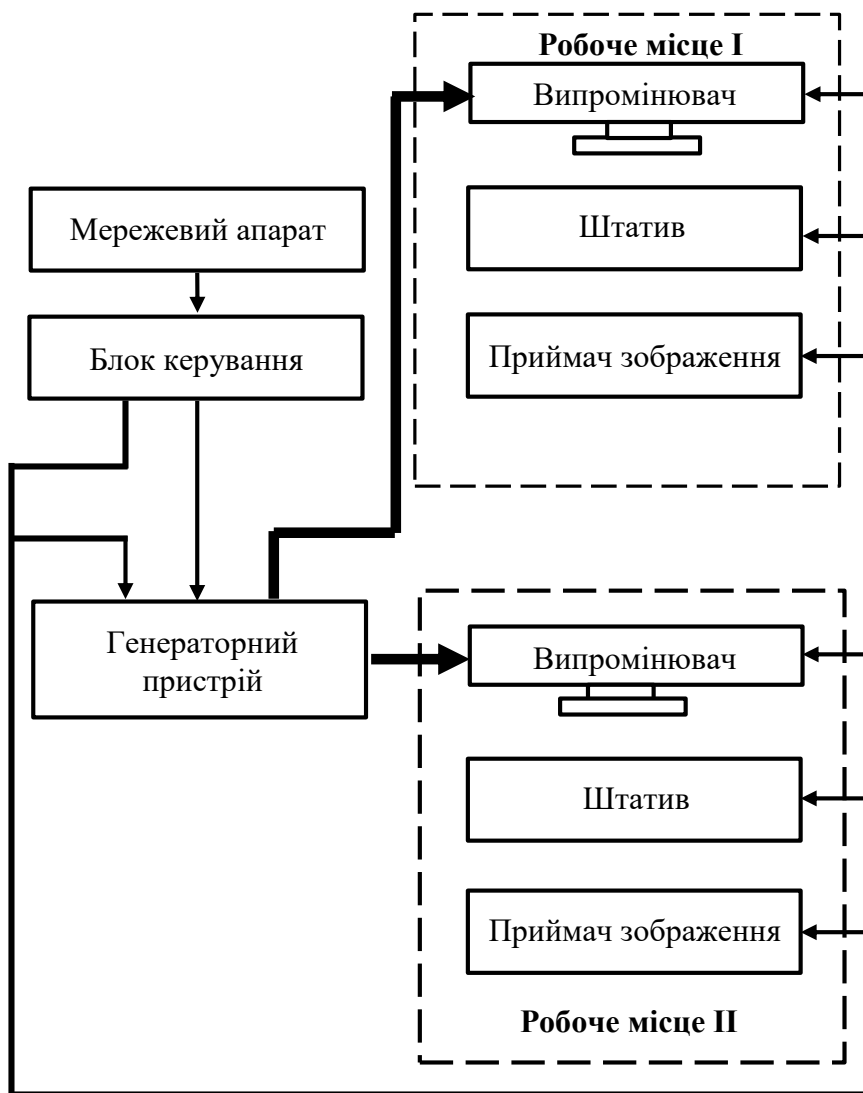


Рис. 15. Узагальнена будова рентгенівського апарату

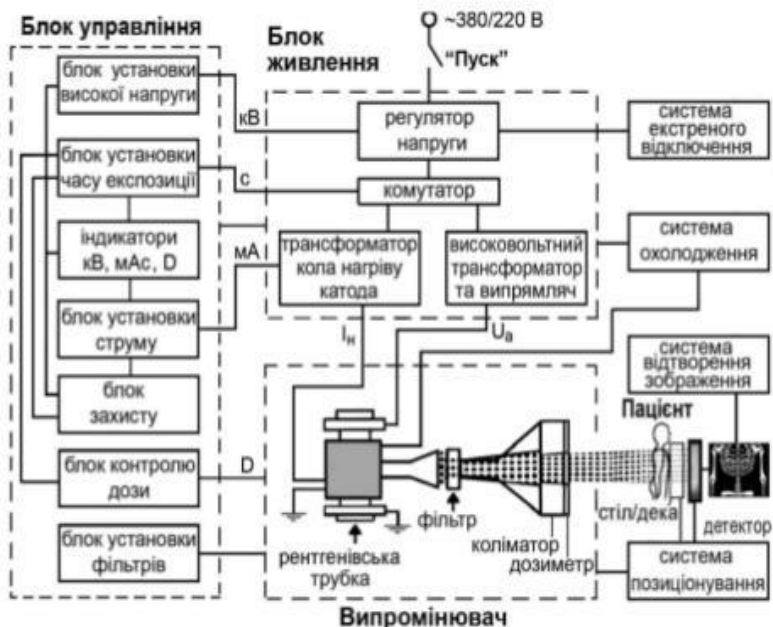


Рис. 16. Структурна схема універсального рентгенівського апарату

**Рентгенівська трубка** – це електровакуумний прилад, який в апараті є генератором рентгенівських променів. Залежно від потужності та призначення апарата трубка має різну форму і розміри. Кожна трубка складається з скляного балона, катода та анода.

Схематично принцип роботи рентгенівського апарата полягає в тому, що напруга електричної мережі підводиться до пульта управління, в якому вона регулюється за допомогою автотрансформатора і подається на первинну обмотку головного трансформатора. В результаті різниці в кількості витків первинної і вторинної обмоток головного трансформатора напруга в ньому різко зростає і подається на рентгенівську трубку безпосередньо (так звані півхвильові РА) або через випрямляючий пристрій (кенотрони, селенові випрямлячі). Регулювання струму, що проходить через рентгенівську трубку, здійснюється регулюванням напруги її катодної нитки.

Живлення ланцюга розжарення катода рентгенівської трубки проводиться від понижуючого трансформатора напруги. Так як анод рентгенівської трубки зазвичай заземлюється, а катод знаходиться під високою напругою, трансформатор напруги має високовольтну ізоляцію. Високовольтні елементи схеми рентгенівського апарату зазвичай поміщаються в заземлений кожух і з'єднуються з електродами захисної рентгенівської трубки за допомогою високовольтних кабелів (кабельні рентгенівські апарати). У так званих блок-апаратах високовольтна частина разом з трубкою розміщується в металевому кожусі, заповненому мінеральним ізоляційним маслом. Висока напруга зазвичай регулюється за допомогою автотрансформатора, включеного в первинний ланцюг головного трансформатора. Спеціальний комутатор, приєднаний до різних виводів автотрансформатора, дає змогу змінювати плавно або ступінчасто напругу на первинній і, отже, на вторинній обмотці головного трансформатора.

Струм розжарення рентгенівської трубки встановлюється за допомогою реостата, включеного в ланцюг первинної обмотки трансформатора напруги. Анодний струм трубки залежить від величини струму розжарення, який обумовлений напругою електричної мережі: зміна напруги мережі, наприклад, на 5% змінює анодний струм в 2 рази. Напруга електричної мережі падає при включенні рентгенівського апарату, в зв'язку з чим для стабілізації напруження трубки доводиться встановлювати трансформатор (компенсатор) або спеціальний феррорезонансний стабілізатор.

Автотрансформатор з комутаторами, реостат регулювання струму накалювання, контрольні прилади, системи стабілізації напруги і захисту від перевантаження і короткого замикання складають низьковольтну частину рентгенівського апарату і розміщуються в спеціальному пульті управління. Включення апарату зазвичай здійснюється ступенями: спочатку включається мережева напруга, потім напруга рентгенівської трубки і кенотрона і, нарешті, висока напруга. Відключення проводиться в зворотному порядку.

Живлення може бути однофазне, двофазне і трифазне.

Керуючий орган апарату поміщається в пульті управління.

У блоктрансформаторних установках роль пульта управління виконує ручне реле часу. Напруга мережі через керуючий орган після необхідних перетворень подається на блок живлення апарата. Керуючий орган шести- і дванадцяти кенотронних апаратів великої



потужності складається з двох частин: силової (високовольтної) і керуючої (низьковольтної) частин. Силова частина керуючого органу (електромагнітний контактор) знаходиться в блоці живлення, а низьковольтна частина (реле часу) в пульті управління (рис. 16).

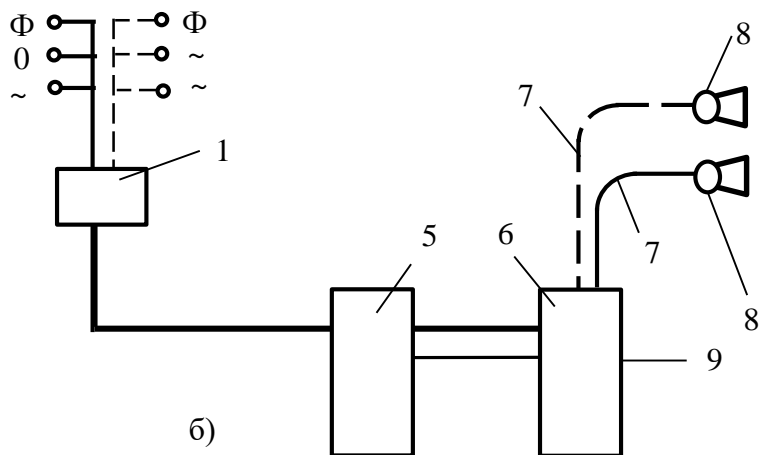
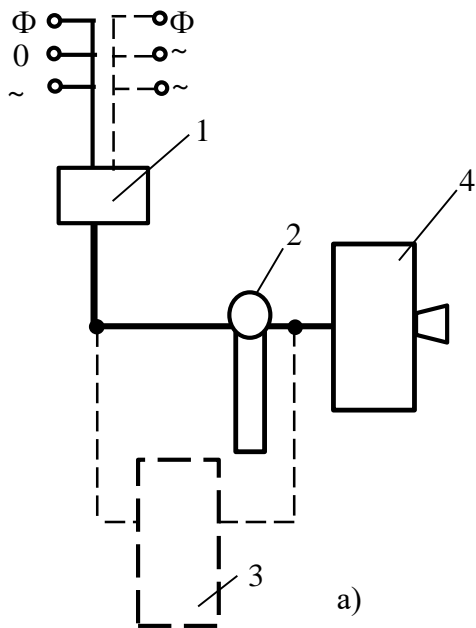
Блок живлення включає високовольтний трансформатор, трансформатор напруги і випрямляч високовольтної напруги.

Рентгенівська трубка поміщається в спеціальному захисному кожусі, що захищає оточуючих від високої напруги і від розсіяного рентгенівського випромінювання. Кожух захищає трубку від механічних пошкоджень і сприяє її охолодженню. З блоку живлення високовольтна напруга подається на трубку за допомогою безпечних високовольтних кабелів.

Якщо високовольтний генератор живить декілька трубок, тобто є кілька штативів, то він забезпечений перемикачем робочого місця. У випадку двох трубок перемикач змонтований у високовольтному блоці живлення, а в разі великої кількості рентгенівських трубок він становить окремий блок. При цьому блок живлення і перемикач робочих місць пов'язані високовольтними кабелями, а від перемикача висока напруга підводиться до окремих трубок також за допомогою високовольтних гнучких кабелів.

До складу рентгенівського апарату входять також: штатив (або група штативів) для кріплення рентгенівської трубки; пристосування для фіксації хворих в процесі дослідження або лікування; рентгенівські екрани. Рентгенівські апарати забезпечуються спеціальними пристроями (реле часу) для автоматичного відключення високої напруги після закінчення заданої експозиції. У терапевтичних рентгенівських апаратах застосовуються електромеханічні реле з максимальною витримкою 10-30 хвилин, які приводяться в дію невеликим електродвигуном. В переносних і пересувних діагностичних рентгенівських апаратах використовуються ручні реле, що приводяться в дію пружиною, а в стаціонарних – конденсаторні реле з мінімальною витримкою близько 0,01 сек.

Типовими агрегатами є рентгенівський діагностичний випромінювач, штативні пристрої (поворотний стіл-штатив, штатив знімків, стійка для знімків), приймачі зображення (рентгенографічна касета, розсіювальна ґратка, підсилювач рентгенівського зображення, рентгенотелевізійна система).



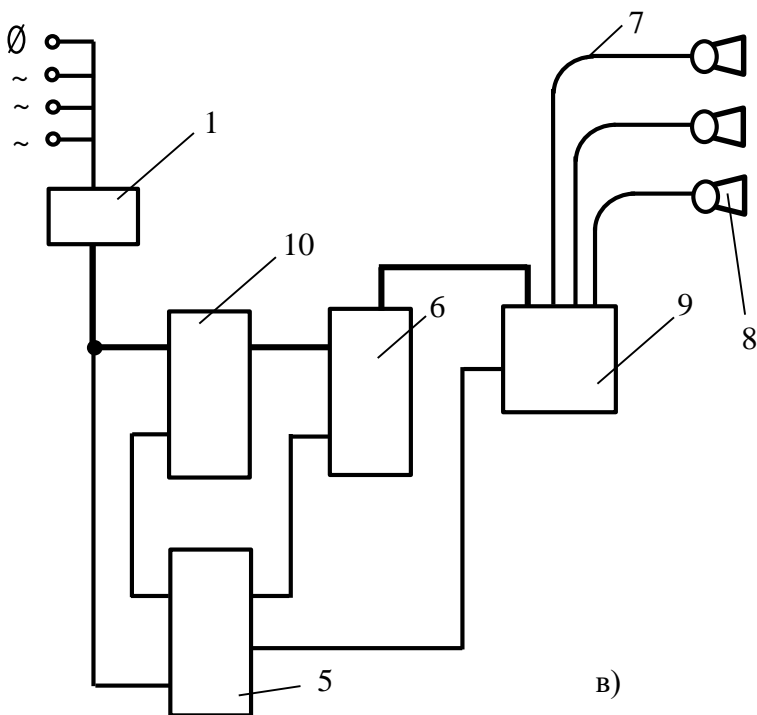


Рис. 17. Схема пристрою рентгенівського апарату  
 а) блоктрансформатор; б) півхвильовий чотирикентронний апарат; в) шістикентронний рентгенівський апарат, де:  
 1 – мережевий щиток; 2 – ручнере реле часу; 3 – розподільна шафа;  
 4 – блоктрансформатор; 5 – пульт керування; 6 – високовольтний генератор; 7 – високовольтні безпечні кабелі; 8 – кожух рентгенівськоїтрубки; 9 – перемикач робочих місць;  
 10 – електромагнітний контактор, керований за допомогою реле часу

Типові агрегати об'єднуються в необхідні робочі місця, які за допомогою високовольтних та низьковольтних кабелів підключаються до генераторного пристрою. Живлення всього РДА здійснюється від мережевого блока за допомогою блока керування.

В апаратах потужністю більше 20 кВт блок керування виконується у вигляді пульта керування та низьковольтної шафи.

Головне коло РДА забезпечує рентгенівську трубку живленням електричною енергією для того, щоб остання могла генерувати випромінювання високої якості. До складу головного кола входять: коректор мережевої напруги, реостат регулювання опору мережі, регулятор анодної напруги, мережевий і головний контактори, а також мережевий вольтметр, кіловольтметр і міліамперметр. В деяких моделях РДА ручна корекція напруги в головному колі замінена автоматичною або складною схемою його комплектації.

На рис. 18 показана універсальна рентгенівська система МУЛЬТИСКОП (фірма СІМЕНС).



Рис. 18. Універсальна рентгенівська система Мультископ

Крім цього, апарат повинен бути оснащений пристроєм живлення достатньої потужності, який перетворює змінний струм мережі в

струм високої напруги, рентгеноекспонетром і обладнанням, що приймає випромінювання.

Також, важливою складовою частиною є апарат для колімації рентгенівського пучка. Він забезпечує його фокусування і дозволяє управляти ним, просвічуючи саме потрібні місця. Плюс, це зменшує розсіювання рентгенівського випромінювання, і, як наслідок, знижує рівень опромінення пацієнта і персоналу.

Додатковою складовою частиною апаратів є стіл-штатив, на якому розміщують хворого в процесі обстеження. Пристрій для рентгенографії може бути оснащений підсилюючими екранами, що містять люмінофор, який світиться під дією рентгенівських променів, посилюючи тим самим їх фотохімічну дію. Завдяки цьому вдається знизити експозиційний час, а значить і променеве навантаження. Плюс, це збільшує чіткість і різкість одержуваного зображення. Види люмінофорів бувають різні, найбільш поширені такі види:

- дрібнозернистий;
- грубозернистий.

Обладнання з дрібнозернистим люмінофором має меншу відбивну здатність, але це компенсується високою просторовою роздільною здатністю. Воно використовується в остеології, де немає необхідності радикально зменшувати експозицію.

Другий тип підсилювачів також називають швидкісними, через те, що вони мають високий рівень світловідбивання і меншу роздільну здатність. Їх використовують у тих випадках, коли потрібно зняти швидко рухомі об'єкти, такі як серце, великі судини, а також, якщо переносний рентген-апарат призначений для рентгена дітей.

Сучасні рентгенівські апарати забезпечені досить складними пристроями для стабілізації напруги і струму рентгенівської трубки, а також для захисту її від можливих перевантажень. Крім складних релейних пристроїв для регулювання часу експозиції, діагностичні апарати забезпечені автоматичними перемикачами режимів роботи РА, що буває необхідним, наприклад, у разі швидкого переходу з режиму просвічування на режим знімків і назад. Крім того, всі сучасні РА мають систему захисту від невикористаного рентгенівського випромінювання і від ураження струмом високої напруги.

Діапазон напруги і струму рентгенівських апаратах залежно від їх призначення наведено в таблиці.

Таблиця 1.1

**Діапазони напруги і сили струму рентгенівських апаратів**

Типи апаратів	Напруга (кВ)	Сила струму (мА)
<b>Діагностичні</b>		
Стаціонарні	100-150	60-1000
Пересувні	60-125	10-300
Переносні	50-85	5-15
<b>Терапевтичні</b>		
Стаціонарні	60-400	20-30
Пересувні	15-150	5-50

Таблиця 1.2

**Сфери застосування РВ в залежності від анодної напруги**

Довжина хвилі	Напруга на аноді, кВ	Застосування
0,05	250	Дистанційна променева терапія
0,10	125, 80, 60	Рентгендіагностика
	80, 60, 40	Короткофокусна променева терапія
0,5	25	Короткофокусна променева терапія
0,8	15	
1	12	
1,5	8	
2	6	
2,5	5	

**Цифрові рентгенографічні системи**

На рис. 19 наведена схема типової цифрової рентгенівської системи ЦРС (DRS). Рентгенівська трубка і приймач зображення

пов'язані з комп'ютером і керуються ним, а одержуване зображення запам'ятовують, обробляють (у цифровій формі) і відображають на дисплеї, який є частиною пульта управління оператора-рентгенолога. Аналогічні пульти управління можна застосовувати і в інших системах отримання зображення, наприклад, на основі ядерного магнітного резонансу або комп'ютерної томографії. Цифрове зображення можна записати на магнітному носії, оптичному диску або ж на спеціальному записуючому пристрої, здатному постійно вести реєстрацію зображення на плівку в аналоговій формі.

Записане на фотоплівці зображення можна перетворити в цифрову форму за допомогою скануючого мікроденситометра, але будь-яка інформація, зафіксована на фотоплівці з дуже малою або, навпаки, дуже високою оптичною густиною, може бути відтворена за допомогою: Дисплей + Блок пам'яті + Пристрій документування; Комп'ютер + пам'ять зображення. В цифрову форму можна перетворити і ксерорентгенограму за допомогою скануючого денситометра або шляхом безпосереднього зчитування зображення з селенової пластини.

В цифровій рентгенології знайшли застосування два класи приймачів зображення: приймачі з безпосереднім формуванням зображення і приймачі з частковою реєстрацією зображення, в яких повне зображення формується шляхом сканування, рентгенівським пучком або приймальним пристроєм (скануюча проекційна рентгенографія).

В інших цифрових рентгенографічних системах використовують твердотільні приймачі з високим коефіцієнтом поглинання рентгенівського випромінювання. В обох різновидах згаданих рентгенографічних систем застосовується метод сканування з рядковою реєстрацією зображення, яке відтворюють цілком на дисплеї комп'ютера (скандувальна проекційна рентгенографія). До іншого класу цифрових рентгенографічних систем слід віднести люмінофори з пам'яттю, які потім реєструються за допомогою приймача із безпосереднім формуванням зображення. Системи отримання зображення зі скануванням рентгенівським пучком і приймачем мають важливу перевагу, оскільки в них добре пригнічується розсіювання.

Розсіяне рентгенівське випромінювання безладно поширюється у всіх напрямках і цим суттєво знижує якість зображення. Потрапляючи на будь-які ділянки плівки, воно посилює її почорніння. Під впливом

вторинного та розсіяного випромінювання контрастність і різкість рентгенівського зображення зменшуються. Кількість розсіяного випромінювання залежить від об'єму тканин, через які проходять рентгенівські промені. Чим більша товщина тканин і чим ширше пучок променів, які йдуть з трубки і потрапляють на хворого, тим більше виникає вторинного та розсіяного випромінювання. Застосування вузького пучка променів дозволяє краще розпізнавати деталі досліджуваного об'єкта.

Засоби зменшення опромінювання. Для обмеження поля опромінювання використовують колімуючі пристрої: діафрагмальні тубуси, глибинні діафрагми.

Вони не тільки формують основний пучок рентгенівського випромінювання, але й затримують проходження розсіяних вторинних променів, що утворюються поза фокусом рентгенівської трубки.

В цих системах один коліматор розташовується перед пацієнтом з метою обмеження первинного рентгенівського пучка до розмірів, необхідних для роботи приймача, а інший – за пацієнтом, щоб зменшити розсіювання.

Проекційні рентгенограми синтезуються також сканерами комп'ютерної томографії і виконують допоміжну роль при виділенні відповідного перерізу.

Головним недоліком сканувальних систем є те, що значна частина корисної вихідної потужності рентгенівської трубки втрачається, що потребує збільшення до 10 с часу експозиції.

Схема взаємодії елементів системи отримання, оброблення, зберігання і передачі рентгенівських діагностичних зображень подається у вигляді трьох каналів: традиційної рентгенографії, цифрової рентгенографічної установки і рентгеноскопії (відеосигнал з УРІ).

### ***Традиційна рентгенографія***

Рентгенограми, отримані за допомогою традиційного процесу, надходять на оброблення в напівтоновий графічний сканер, за допомогою якого рентгенодіагностичне зображення вводиться в пам'ять комп'ютера.

Після цього така рентгенограма може оброблятися засобами комп'ютерної техніки, але в межах вузького динамічного діапазону рентгенівської плівки.



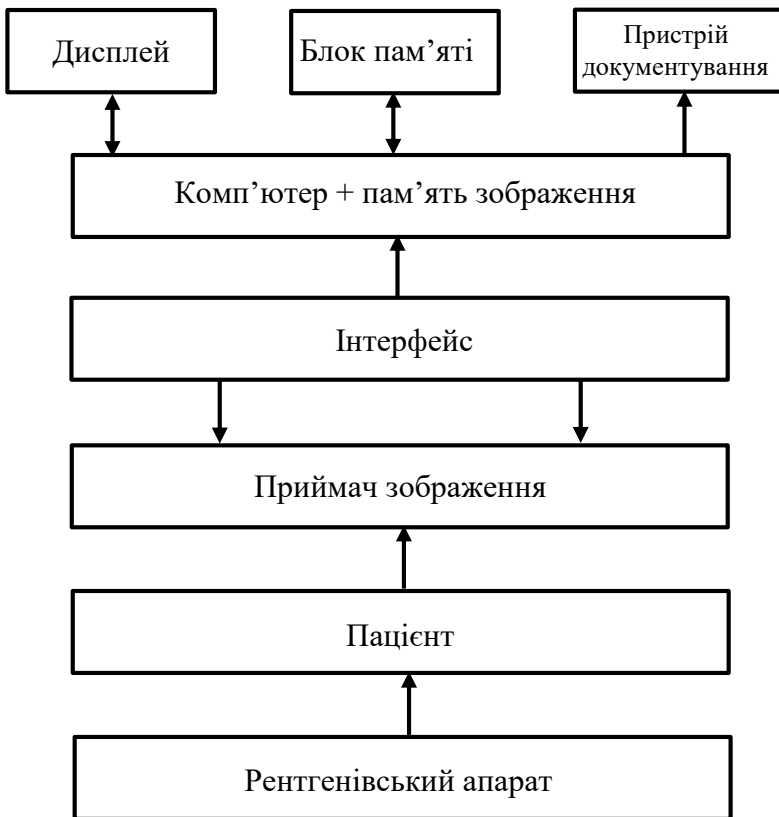


Рис. 19. Складові цифрової рентгівської системи

### *Рентгеноскопія*

Рентгівські зображення з рентген телевізійного каналу УРІ можуть оброблятися як в режимі реального часу, так і з CD або з USB. Останнє дозволяє при перегляді відеозображень обрати потрібний кадр для занесення його в архів. Перший і третій канали дають можливість перетворити традиційні рентгівські зображення (рентгенограми і відеотелевізійні кадри) в цифрове зображення.

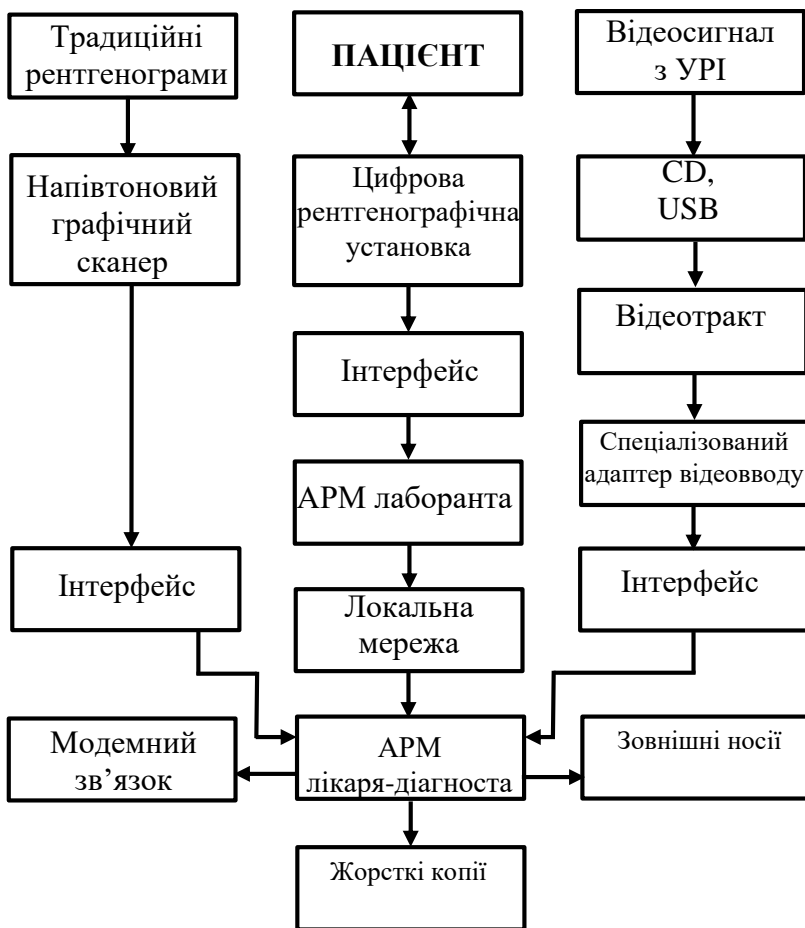


Рис. 20. Схема взаємодії елементів системи отримання, обробки, зберігання і передачі рентгенівських діагностичних зображень

Цей прийом має особливе значення, тому що він дає можливість достовірно порівнювати зображення, отримані різними способами. Наступною перевагою такого перетворення є можливість розміщення його в електронному архіві передачі зображення по комп'ютерних мережах.

**Цифрова рентгенографічна установка** складається з двох підсистем: автоматизованого робочого місця АРМ (automated workplace) лаборанта і АРМ лікаря-рентгенолога, об'єднаних в локальну мережу. АРМ рентгенолаборанта забезпечує внесення відомостей про хворих, організаційних і клінічних даних, даних про управління процесом реєстрації зображення (синхронне включення сканера і високої напруги та ін.). Після отримання рентгенівського зображення воно і відомості про пацієнта по локальній мережі надходять в АРМ-ЛР. На АРМ-ЛР виконується програмне оброблення зображень для отримання діагностичної інформації, пошук попередніх зображень пацієнтів і їх порівняння з новоотриманими, реєстрація нових пацієнтів і зображення в базі даних, приведення їх до формату, оптимального для архівації, та інші маніпуляції, доступні електронним технологіям персонального комп'ютера. Програмне забезпечення дозволяє лікарю-рентгенологу при необхідності створити тверді копії зображення на лазерному принтері; за наявності мережевого зв'язку передати їх в клінічні підрозділи; зв'язатися з консультаційними центрами або центральним архівом по електронному зв'язку. Блок бази даних формалізує всі етапи роботи з пацієнтом від внесення даних лаборантом до їх розміщення у архівному зберіганні; дозволяє лікарю-рентгенологу створювати всі види стандартної звітності, а також аналізувати проведену роботу по цільових вибірках. Кінцевим етапом роботи з цифровим зображенням всіх трьох видів є його архівація на USB або оптичному носії.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чим рентгеноскопія відрізняється від рентгенографії?
2. Що входить до складу рентгенівського апарату?
3. Завдяки чому можна знизити променеве навантаження?
4. З чого складається цифрова рентгенографічна установка?
5. Що являє собою рентгенівська трубка?
6. Які існують апарати за типом живлення рентгенівської трубки?
7. Що являє собою флюорографія як методика рентгенологічного дослідження?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Злепко С. М. Медична апаратура спеціального призначення. Навчальний посібник / С. М. Злепко, Л. Г. Коваль, Н. М. Гаврілова та ін. // Вінниця: ВНТУ, 2010. – 160 с.
2. Туманська Н. В. Методи променевої діагностики. Навчальний посібник для студентів / Н. В. Туманська, К. С. Барська, С. В. Скринченко та ін. // Запоріжжя : [ЗДМУ], 2017. – 82 с.
3. General Electric Company. Industrial Radiography Image forming techniques [Електронний ресурс] // GEIT-30158EN (06/08). – 2006.
4. Мудрий С. І. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві. Навч.-метод. посіб. [для вищ. навч. закл.] / С. І. Мудрий, Ю. О. Кулик, А. С. Якимович // Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 226 с.

## ЗМІСТ

1. ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПРОМЕНЕВОЇ ДІАГНОСТИКИ .....	4
2. МЕТОДИ РЕНТГЕНОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....	9
3. РЕНТГЕНІВСЬКІ АПАРАТИ .....	14
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ .....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	36



Навчальне видання

РЕНТГЕНІВСЬКІ СИСТЕМИ ЯК ЗАСІБ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ  
ПАЦІЄНТІВ

Методичні вказівки  
до практичних занять

Автори-укладачі:  
**КОСУЛІНА** Наталія Геннадіївна  
**ЛЯШЕНКО** Геннадій Анатолійович  
**ПОЛЯНОВА** Надія Володимирівна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,8.

Наклад \_\_\_ пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

