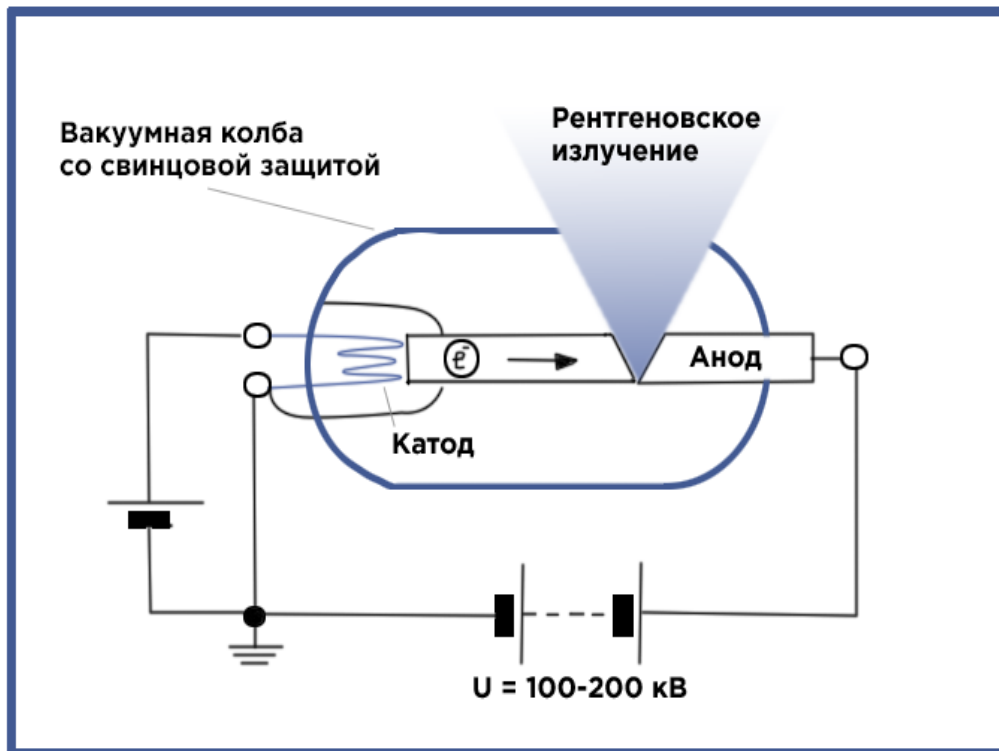
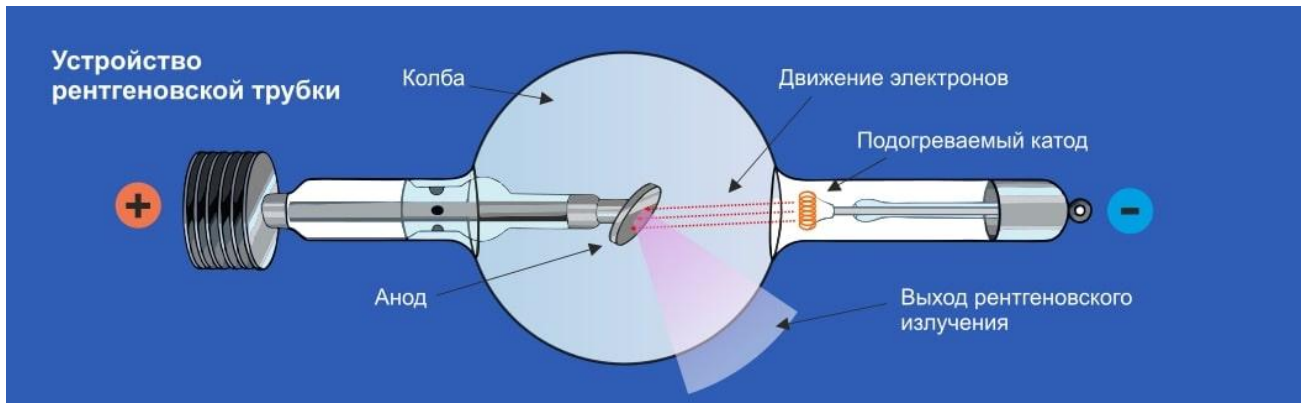


## Лекція

### Рентгенівські трубки, будова, класифікація, параметри

Рентгенівська трубка є джерелом рентгенівського випромінювання в рентгенівському апараті. Представляє собою скляний балон запаятий у вигляді циліндра або з розширенням посередині, з якого видалене повітря за допомогою вакуумного насоса. Тиск повітря у балоні доведений до  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  мм ртутного стовпчика. В кінцях трубки впаяні два електроди — катод і анод.



**Катод** — прямолинійна вольфрамова спіраль, розміщена в коритцеподібному заглибленні біля центральної частини скляного балона. Спіраль катоду звичайно виготовляють з тугоплавкого вольфраму, покритого торієм для поліпшення емісійних характеристик.

На кінці цього боку балона є цоколь або два контакти для підключення живлення до спіралі.

**Анод** — масивний мідний стержень, закріплений всередині скляного балона, але з другого його боку. Поверхня кінця стержня, звернена до катода, зрізана. На ній знаходиться тугоплавка вольфрамова пластинка —

дзеркало пластинки, в центрі якого помітна матова ділянка — фокусна пляма (фокус рентгенівської трубки). При роботі трубки дзеркало анода дуже нагрівається і може розплавитися. Тому передбачені спеціальні пристосування для його охолодження. Насамперед корпус анода виготовлений з міді, яка добре проводить тепло. Крім того, використовують повітряне радіаторне, водяне та масляне охолодження, конструкції трубок з обертовим анодом. Масивний корпус аноду виготовляють з міді, тому що вона має високу теплопровідність, а торець, на якому гальмуються електрони (дзеркало аноду), може бути покритий шаром іншого металу (Cr, Fe, Ni, Co, Mo, W, Ag та ін.).

Анод рентгенівської трубки зазвичай виконується у вигляді масивного мідного чохла, зверненого до катода скошеним торцем, щоб що виходить рентгенівське випромінювання було перпендикулярно осі трубки. В товщу анода впаяна вольфрамова платівка 2- (дзеркало анода). Катод електронної рентгенівської трубки містить тугоплавку нитку розжарення, звичайно вольфраму, яка виконана у вигляді циліндричної або плоскої спіралі і оточена металевим стаканчиком для фокусування пучка електронів на дзеркалі анода (фокус рентгенівської трубки). У двухфокусних рентгенівських трубках катод містить дві нитки розжарення.

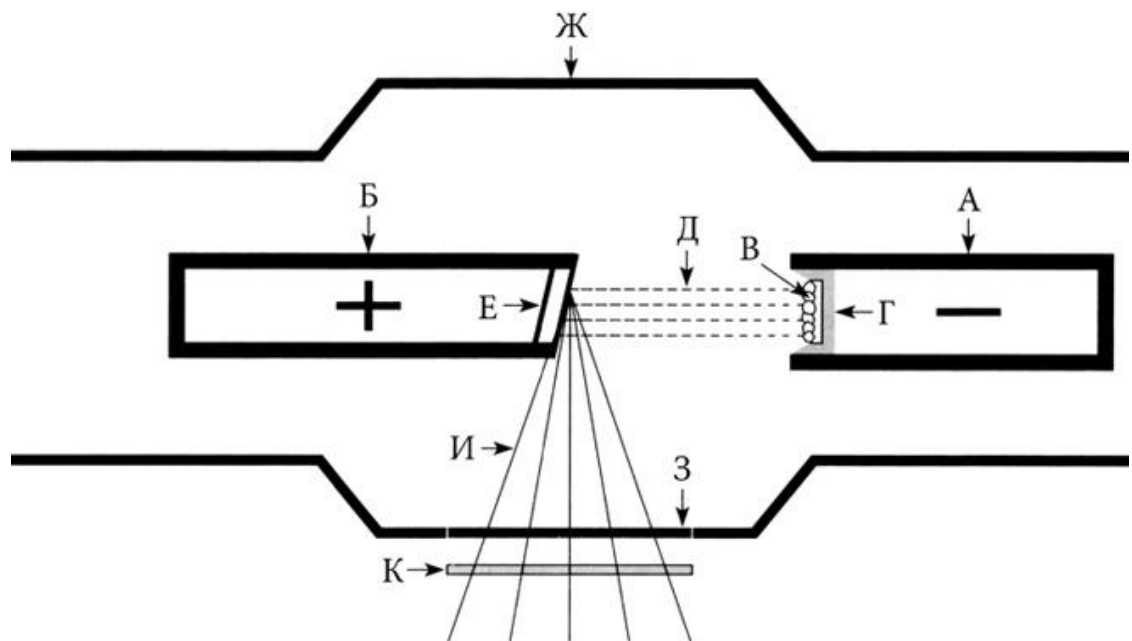
Зміна матеріалу дзеркала аноду дозволяє одержувати випромінювання з різною довжиною хвилі.

Рентгенівське випромінювання в більшості випадки виходить з середини трубки перпендикулярно її осі.

Випускають двофокусні рентгенівські трубки з двома паралельними спіралями на катоді — малою і великою. Малу спіраль використовують для досліджень, що потребують невеликої потужності апарата, більшу — для знімків великих ділянок тіла.

В якості матеріалу оболонки рентгенівської трубки зазвичай застосовують скло, яке дозволяє прикладати до електродів досить висока напруга, пропускає рентгенівське випромінювання без помітного ослаблення (для отримання буккі-променів роблять берилієві вікна), досить міцно і непроникним для газів (вакуум в рентгенівській трубці  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  мм рт. ст.). Діагностичні рентгенівські трубки працюють при максимальних напруженнях до 150 кв, терапевтичні - до 400 кв.

Металевий кожух трубки (захисний циліндр) гасить рентгенівські промені. З трубки вони виходять тільки через спеціальні вікна, що являють собою циліндричні отвори, герметично закриті тонкою пластинкою зі сплаву найбільш легких елементів (берилій, літій, бор) або чистого берилію.



А - катод; Б - анод; В - вольфрамова нитка розжарення; Г - фокусується чашечка катода; Д - потік прискорених електронів; Е - вольфрамова мішень; Ж - скляна колба; З - вікно з берилію; И - освічені рентгенівські промені; К - алюмінієвий фільтр.

До електронної трубки підключені 2 трансформатора: понижуючий і підвищує. Понижуючий трансформатор розпалює вольфрамову спіраль низькою напругою (5-15 вольт), в результаті чого виникає електронна емісія. Підвищуючий, або високовольтний, трансформатор підходить безпосередньо до катода і анода, на які подається напруга 20-140 кіловольт. Обидва трансформатора поміщаються в високовольтний блок рентгенівського апарату, який наповнений трансформаторним маслом, що забезпечує охолодження трансформаторів та їх надійну ізоляцію. Після того як за допомогою понижувального трансформатора утворилося електронна хмарка, включається підвищувальний трансформатор, і на обидва полюси електричного кола подається високовольтна напруга: позитивний імпульс - на анод, і негативний - на катод. Негативно заряджені електрони відштовхуються від негативно зарядженого катода і прагнуть до позитивно зарядженого анода - за рахунок такої різниці потенціалів досягається висока швидкість руху - 100 тис. Км / с. З цією швидкістю електрони бомбардують вольфрамову пластину анода, замикаючи електричний ланцюг, в результаті чого виникає рентгенівське випромінювання і тепла енергія.

Для визначення довжини хвилі рентгенівського випромінювання використовують формулу Мозлі :

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot (z - \sigma)^2 \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

$R$  – постійна Ридберга,  $1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ ;

$z$  – порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва;

$\sigma$  – постійна екранування,  $\sigma = 1 \dots 1,5$  (для К-серії  $\sigma = 1$ );

$m$  – енергетичний рівень, на який відбувається перехід електрона;

$n$  – енергетичний рівень, з якого відбувається перехід електрона.

Електричні характеристики рентгенівської трубки описуються наступними залежностями (1.2, 1.3):

$$I_T = f(I_H) \text{ при } U_A = \text{const}, \quad (1.2)$$

$$I_T = f(U_A) \text{ при } I_H = \text{const}, \quad (1.3)$$

де  $I_T$  – струм у трубці (анодний струм), що утворюється за рахунок переходу електронів з катода на анод;

$I_H$  – струм накалу – струм, що пропускається скрізь спіраль катода для її розігрівання;

$U_A$  – висока напруга (анодна напруга), прикладена до полюсів трубки.

Графічне зображення залежностей наведено на рис. 1.4 і 1.5.

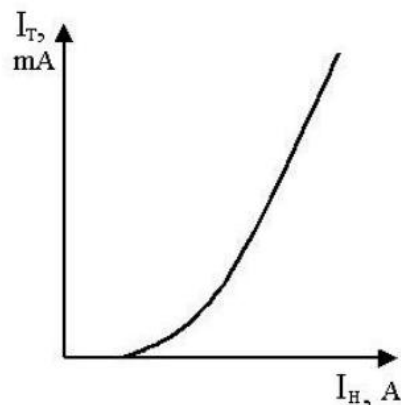


Рис. 1.4. Залежність сили струму у трубці від сили струму накалу

З рис. 1.4 видно, що струм у трубці з'являється тільки при досягненні певного значення струму накалу, тому що емісія електронів з поверхні катода починається тільки з певної температури нагрівання.

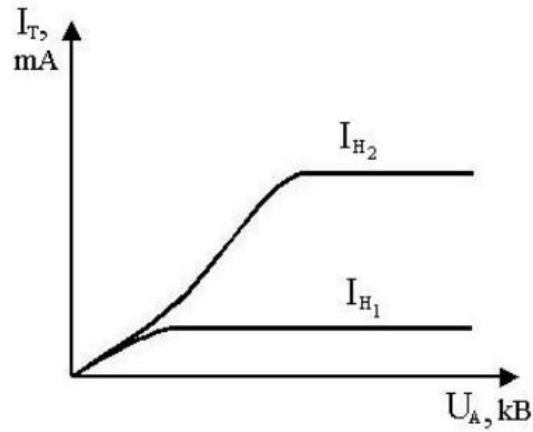


Рис. 1.5. Залежність сили струму в трубці від анодної напруги

З рис. 1.5 видно, що при малій напрузі не всі електрони досягають анода, зі збільшенням  $U_A$  їх кількість збільшується й  $I_T$  зростає доти, поки всі електрони не досягнуть анода. Подальше підвищення напруги не призводить до збільшення струму в трубці – скрізь трубку проходить струм насичення. Щоб підвищити струм у трубці, необхідно збільшити кількість електронів, що випускаються катодом. Для цього необхідно збільшити струм накалу.

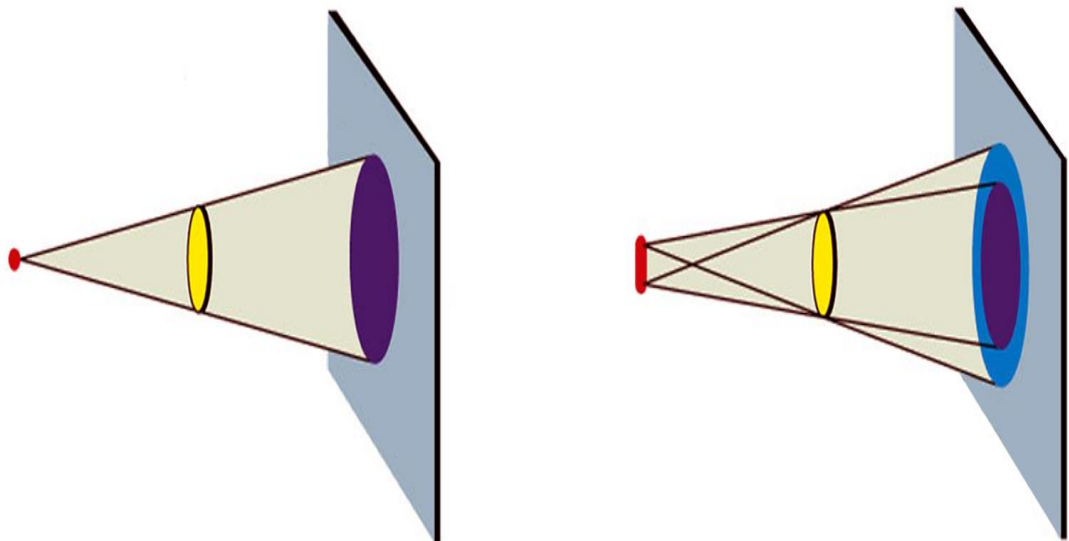
Гранична потужність трубки визначається за формулою (1.4)

$$P = U \cdot I, \quad (1.4)$$

де  $U, I$  – максимальні значення відповідно  $U_A, I_T$ , при яких ще не відбувається перегрів і розплавлення аноду.

**Фокус трубки** – площадка на дзеркалі анода, що випускає рентгенівські промені при бомбардуванні електронами.

**Фокусне плямою** рентгенівської трубки є невелика ділянка дзеркала анода круглої або прямокутної форми, на якому емітується робочий пучок рентгенівського випромінювання. Розмір і форма визначаються розміром і формою електронного потоку, які, в свою чергу, залежать від фокусуєчих пристроїв і форми катода.



При подачі на електроди трубки накального і анодного електроживлення катод розігрівається і починає випускати потік електронів, які під дією анодної напруги розганяються і спрямовуються до анода.

Досягнувши анода, електрони гальмуються на його ФП, а їх кінетична енергія перетворюється в теплову енергію і рентгенівське випромінювання. Частка рентгенівського випромінювання становить кілька відсотків, а основна частина припадає на тепло, що призводить до швидкого і сильного нагрівання матеріалу анода.

Щоб не допустити руйнування анода, його дзеркало виготовляється з тугоплавких металів - в основному з вольфраму. На практиці існує кілька понять ФП.

Ділянка дзеркала анода, на який падає потік електронів, називається **істинним або дійсним фокусом** трубки, а його проекція в напрямку рентгенівського випромінювання - **оптичним фокусом**.

Саме оптичний фокус поряд з фокусною відстанню є однією з визначальних характеристик рентгенівської трубки. Для зміни розміру оптичного фокуса в даний час застосовується різний кут скошування анода по відношенню до напрямку електронного потоку: чим менше кут - тим менше ФП і навпаки.

Оптичні властивості трубки безпосередньо залежать від форми і розмірів ФП. При прагненні ФП до розміру точкового джерела випромінювання формується картинка з максимальною роздільною здатністю і високою різкістю і чіткістю зображення. У міру збільшення розмірів ФП з'являється і зростає розмитість контурів зображення, знижується його чіткість. Однак зменшення розмірів ФП тягне за собою зниження інтенсивності рентгенівського випромінювання, а це в свою чергу, викликає необхідність збільшувати час експозиції детектора. При великих розмірах ФП можливе збільшення електричного навантаження трубки, що призведе до зниження тимчасових витрат і підвищення продуктивності праці в роботі з апаратом. На практиці доводиться шукати компроміс між якістю контролю і його оперативністю.

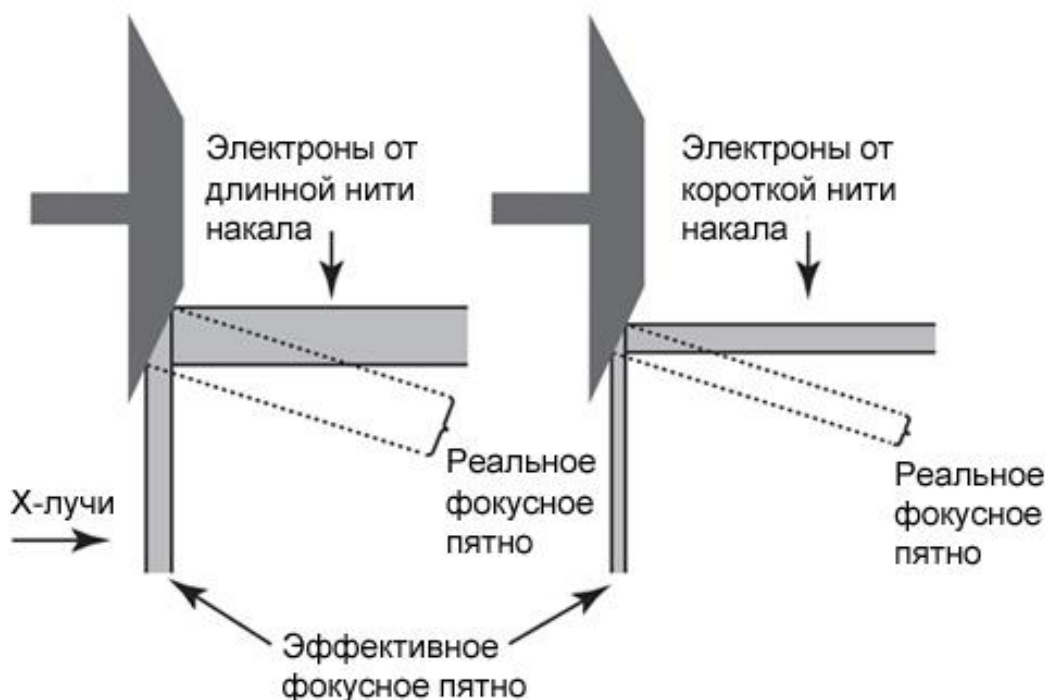


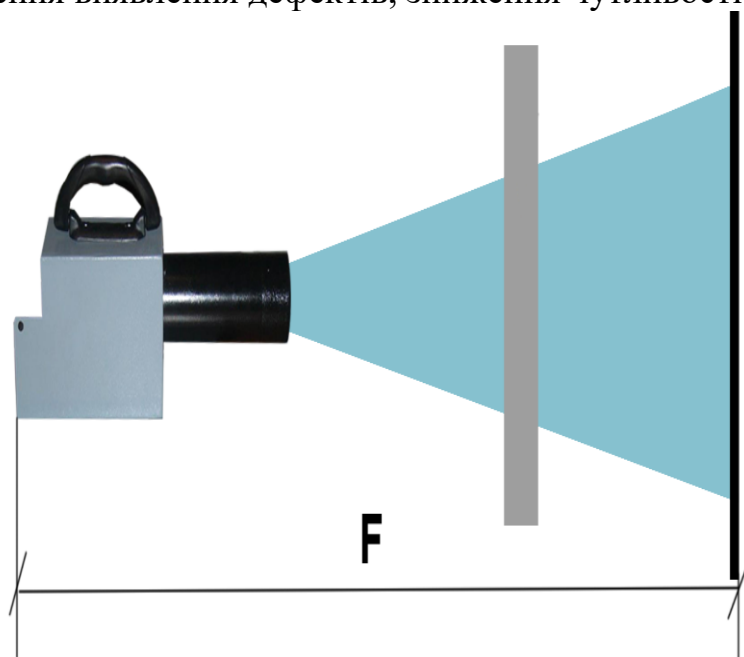
Схема утворення реальної та ефективної фокусної плями.

Різкість рентгеновського зображення обумовлена величиною фокуса. Основна вимога до діагностичним рентгеновським трубкам - велика потужність при малому фокусі. Сучасні рентгеновські трубки мають лінійчатий фокус розміром 10-40 мм<sup>2</sup>, але практичне значення має не дійсна величина фокуса, а його видима проекція в напрямку пучка, тобто розміри ефективного оптичного фокуса (рис. 2). При куті нахилу анода 19° площа ефективного фокуса в 3 рази менше дійсного, що дозволяє збільшити потужність рентгеновської трубки в два рази. Подальше збільшення потужності досягнуто в трубках з обертовим анодом (рис. 3 і 4).

Сучасні рентгеновські трубки мають лінійчатий фокус розміром 10-40 мм<sup>2</sup>, але практичне значення має не дійсна величина фокуса, а його видима проекція в напрямку пучка, тобто розміри ефективного оптичного фокуса (рис. 2). При куті нахилу анода 19° площа ефективного фокуса в 3 рази менше дійсного, що дозволяє збільшити потужність рентгеновської трубки в два рази. Подальше збільшення потужності досягнуто в трубках з обертовим анодом (рис. 3 і 4).

При оцінці рентгенооптичних властивостей Р. т. слід враховувати, що вирішальне значення має не величина дійсного фокусу на дзеркалі анода, а видима проекція фокусної плями в напрямку центрального променя, тобто розміри ефективного оптичного фокуса. Зменшення розмірів оптичного фокуса досягається зменшенням кута скошування анода по відношенню до центрального променя.

**Фокусна відстань** рентгеновської трубки – це відстань від центру фокусної плями трубки до об'єкта контролю. Є однією з характеристик, що визначають якість рентгеновського контролю. Зменшення фокусної відстані тягне за собою зниження якості знімка: збільшення його геометричній нерізкості, утруднення виявлення дефектів, зниження чутливості контролю.



Збільшення фокусної відстані позбавляє, в певній мірі, від зазначених недоліків, проте надмірне його збільшення збільшує час експозиції знімків.

При цьому зміна величини часу експозиції знаходиться в квадратичній залежності від зміни величини фокусної відстані, що в значній мірі впливає на продуктивність контролю.

На практиці, для визначення фокусної відстані користуються емпіричними формулами:

$$F_{\min} = 5d,$$

при  $K \geq \Phi / 2$ , або

$$F_{\min} = d (1 + 2\Phi / K),$$

при  $K \leq \Phi / 2$ ;

де  $d$  - радіаційна товщина об'єкта контролю;  $K$  - чутливість контролю (в мм);  $\Phi$  - розмір оптичного плями рентгенівської трубки.

У більшості випадків фокусна відстань вибирається в межах 300 ... 750 мм в залежності від схеми просвічування.

На відміну від терапевтичних Р. т. забезпечених круглим або у формі еліпса оптичним фокусом, сучасні діагностичні трубки мають так званий лінійчатий фокус (рис. 6). В трубках з лінійчатим фокусом площа ефективного фокуса, що має форму квадрата, приблизно в 3 рази менше площі дійсного фокуса, що має форму прямокутника. При однакових рентгенооптичних властивості потужність рентгенівської трубки з лінійчатим фокусом приблизно в 2 рази більше, ніж у Р. т. з круглим фокусом.

Подальше підвищення потужності діагностичних Р. т. досягнуто в трубках з обертовим анодом (рис. 7 та 8). У цих рентгенівських трубках масивний вольфрамовий анод з лінійчатим фокусом, розтягнутим по всій окружності, укріплений на осі, що обертається в підшипниках, а катод трубки зміщений відносно її осі так, щоб сфокусований пучок електронів завжди потрапляв на скошену поверхню дзеркала анода. При обертанні анода пучок фокусованих електронів потрапляє на мінливий ділянку фокуса анода, ефективна величина якого, тобто оптичний фокус, має завдяки цьому дуже малі розміри (близько 1X1 мм, 2,5X2,5 мм). Так як швидкість обертання аноду досить велика (анод є продовженням осі двигуна, що обертається з кутовою швидкістю 2500 об/хв), потужність трубки при витримках до 0,1 сек. може досягати 40-50 кВт.

## Класифікація рентгенівських трубок

З огляду на дуже великої різноманітності типів і конструкцій трубок їх класифікацію доцільно проводити за кількома ознаками, найголовнішими з яких є наступні:

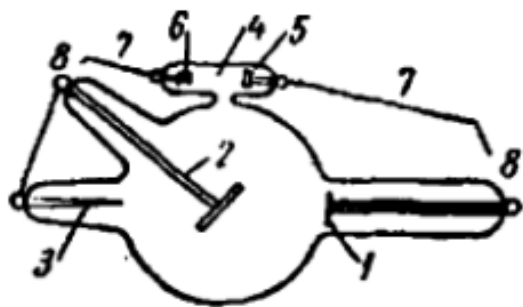
### Спосіб отримання вільних електронів

У різних типах рентгенівських трубок отримання вільних електронів здійснюється різними способами, заснованими на різних фізичних процесах. За цією ознакою рентгенівські трубки поділяються на два класи:

**1. Іонні трубки**, в яких вільні електрони виходять в результаті бомбардування "холодного" алюмінієвого катода позитивними іонами, що



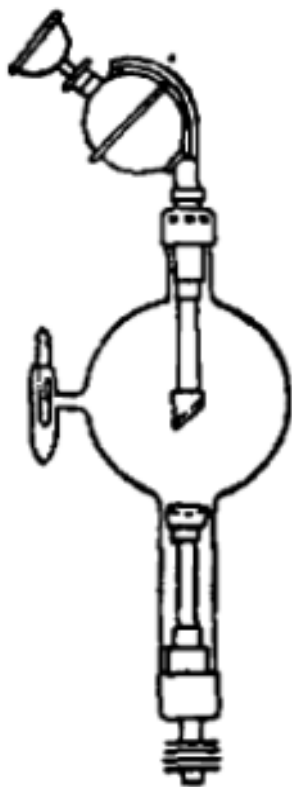
виникають в процесі іонізації розрідженого газу між електродами трубки (при тиску порядку  $10^{-3}$  м.л рт. Ст.).



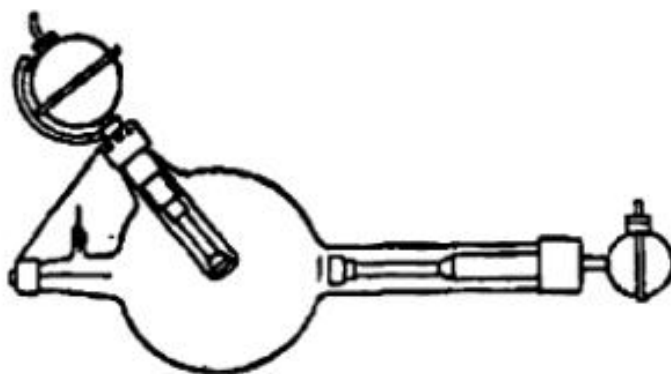
**Рис. 2-2. Эскиз нонной трубки**



1 - Алюмінієвий катод, 2 - мідний анод з вольфрамовим або платиновим дзеркалом, розміщеним під кутом 45 градусів до катоду, 3 - допоміжний анод, 4 - регенератор, що регулює величину вакууму в трубці



**Рис. 2-8. Ионная диагностическая рентгеновская трубка.**



**Рис. 2-9. Ионная терапевтическая рентгеновская трубка.**

**2. Електронні трубки**, в яких отримання вільних електронів досягається застосуванням напруженого катода, що випускає електрони в високому вакуумі (порядку  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  мм рт. Ст.).

Підгрупою цього класу є трубки з холодним вольфрамовим катодом (у вигляді голки або пластинки з гострими ребрами), в яких для отримання вільних електронів використовується явище електростатичної (автоелектронної) емісії, тобто явище виривання електронів в високому вакуумі з холодного катода під дією дуже сильного електричного нуля на вістрях.

Обидва класи трубок можуть бути в свою чергу двох видів:

**1) розбірні трубки**, що допускають зміну катода і анода, в яких необхідний вакуум створюється і підтримується під час роботи безперервно діючими насосами;

**2) запаяні трубки** з незмінним або мало змінним вакуумом.

Сучасні іонні трубки робляться виключно розбірними і застосовуються поряд з розбірними електронними трубками.

Запаяні іонні трубки в даний час майже повністю витіснені більш досконалими електронними трубками. Вони історично передували електронним і застосовувалися майже виключно в медицині для цілей рентгенодіагностики та рентгенотерапії.

**За типом отримання електронної емісії** - з підігрівом або холодним катодом.

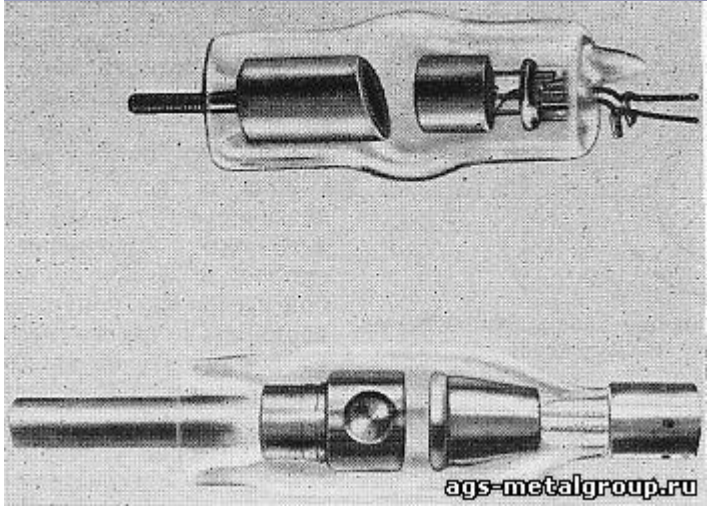
**За типом випромінювання** - безперервне або імпульсне.

**За способом охолодження анода** - повітряне, масляне, водяне.

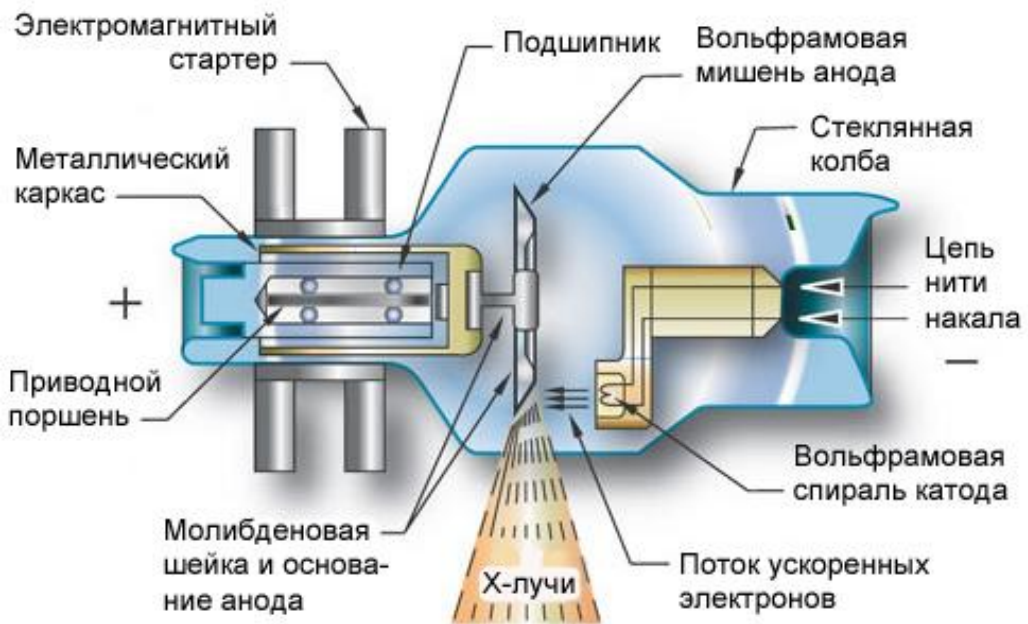
**За типом анода** - обертається або нерухомий.

**По конструкції балона** - скляні або металокерамічні.

**За розмірами фокусної плями.** За величиною (площиною) фокуса – з нормальним ( $6-7$  мм<sup>2</sup>) і гострим (декілька сотих або тисячних мм<sup>2</sup>).



*Рентгівські трубки з нерухомим анодом*



**За призначенням** рентгенівські трубки поділяються на наступні основні типи:

- 1) діагностичні;
- 2) терапевтичні;
- 3) трубки для структурного аналізу;
- 4) трубки для просвічування матеріалів.

Електронні рентгенівські трубки в даний час широко застосовуються в медицині і техніці. В медицині вони використовуються для рентгенодіагностики, яка проводиться шляхом розглядання тінювих картин

досліджуваного об'єкта на флюорисцентному екрані або фотоплівці, і рентгенотерапії, що здійснюється шляхом опромінення хворого рентгенівськими променями.

В техніці рентгенівські трубки застосовуються для структурного аналізу і просвічування матеріалів. При структурному аналізі досліджується тонка структура речовини шляхом отримання та аналізу дифракційні картин (рентгенограм), що виникають при проходженні рентгенівських променів через досліджувану речовину. Просвічування матеріалів проводиться для виявлення в них внутрішніх неоднорідностей і різних дефектів (раковини, тріщини і т. П.) І полягає в розгляданні тінювих картин просвічує об'єкта на екрані або рентгенівському знімку.

У деяких випадках при дослідженнях швидко протікаючих процесів виникає необхідність в отриманні знімків протягом дуже коротких проміжків часу (до часток 1 мікросекунди (мксек)). Для цих цілей необхідні спеціальні імпульсні трубки, що дозволяють отримувати дуже великі анодні струми (до 2000 а в імпульсі).

Це поділ в значній мірі умовний. Трубки діагностичні можуть застосовуватися в деяких випадках для терапії або просвічування матеріалів, а трубки для просвічування матеріалів цілком придатні для всіх видів рентгенотерапії. Однак кожна область застосування рентгенівського випромінювання висуває особливі вимоги до рентгенівським трубках і при розгляді типів і конструкцій трубок зручно користуватися наведеною класифікацією.

### **Ступінь захисту від невикористаного рентгенівського випромінювання і від високої напруги**

Всі перераховані типи трубок виконуються в наступних трьох варіантах:

- 1) трубки без захисту-мають обмежене застосування (застарілий тип);
- 2) трубки захисні. Трубки із захистом від невикористаного випромінювання-мають більш широке застосування в апаратах відкритого типу;
- 3) трубки безпечні. Трубки без захисту або з неповним захистом, але призначені для роботи в захисному металевому заземленому (безпечному) кожусі з повітряної або масляною ізоляцією (або в загальному баку з високовольтною частиною апарату), який забезпечує захист одночасно від невикористаного випромінювання і від ураження високою напругою м- зараз основний тип трубок.

### **Особливості конструкції**

Є ряд спеціалізованих трубок, конструкції яких сильно відрізняються від "нормальної" конструкції трубок широкого застосування. До них відносяться:

- 1) трубки з виносним порожнистим анодом, що застосовуються для порожнинної терапії і просвічування порожнистих виробів;

2) трубки з обертовим анодом, що дозволяють отримувати великі короткочасні потужності при малому фокусі, що застосовуються в деяких видах рентгенодіагностики;

3) трубки м'якопроменеві малої потужності випромінювання, які можуть застосовуватися при дослідженні і використанні бактерицидних і фотохімічних властивостей рентгенівського випромінювання;

4) трубки імпульсні, які використовуються для мікросекундної рентгенографії швидкоплинних процесів;

5) трубки мініатюрні для легких переносних апаратів;

6) трубки високовольтні для глибокої терапії і просвічування відповідальних товстих промислових виробів;

7) гострофокусні трубки – рентгенівський тіньовий мікроскоп.

З викладеного вище видно, що з точки зору конструктивних особливостей можна розрізнити

1) трубки нормальної двоелектродної конструкції і

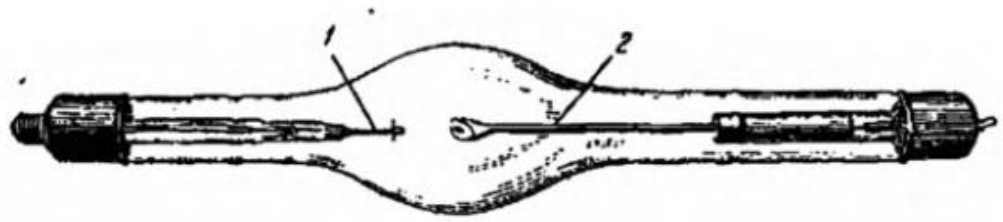
2) трубки спеціалізованих конструкцій.

Для запобігання сильного розігрівання аноду передбачене його безперервне водяне (або масляне) охолодження.



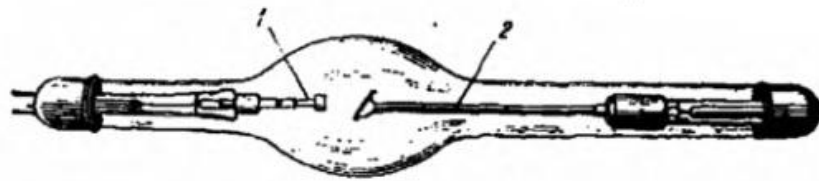
Рис. 1.6. Зовнішній вигляд рентгенівської трубки БСВ-23





**Рис. 2-12. Терапевтическая рентгеновская трубка с массивным вольфрамовым анодом.**

- 1- Або трубка Куліджа
- 2- Складається трубка з катоду 1, що накалиється електричним струмом та вольфрамового аноду 2. Електрони, необхідні для збудження РП отримують з розжареної плоскої вольфрамової спіралі, яку поміщають у молібденовий циліндр, для фокусування електронів у вузький пучок.



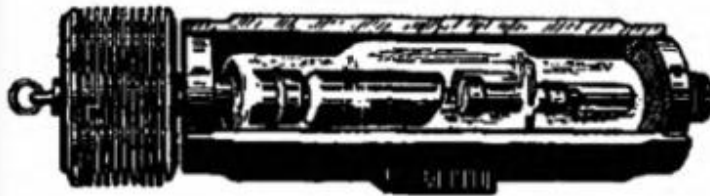
**Рис. 2-13 Терапевтическая рентгеновская трубка с дисковым вольфрамовым анодом.**

4-

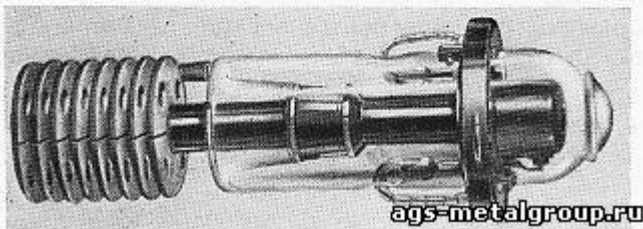
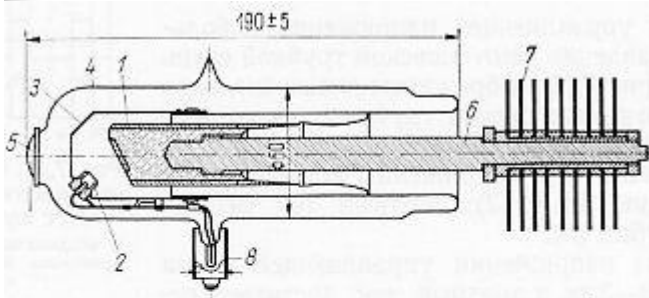




**Рис. 2-51. Детали терапевтической трубки с охлаждением анода радиацией.**



**Рис. 2-52. Диагностическая защитная трубка с ребристым охлаждением анода.**





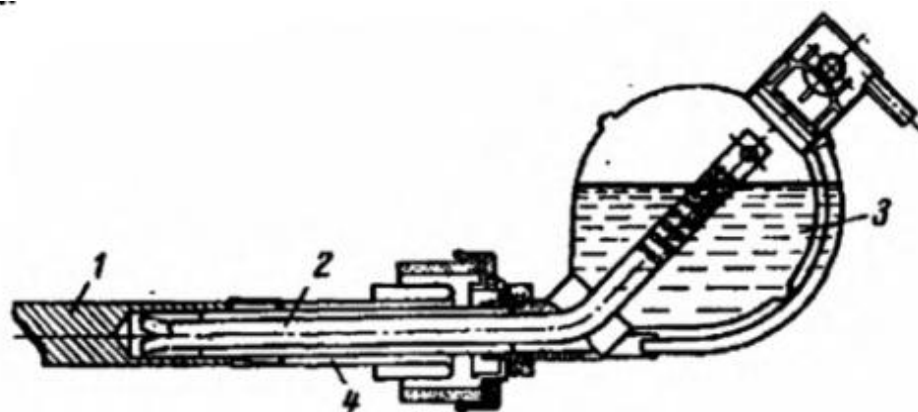


Рис. 2-55. Анод рентгеновской трубки, охлаждаемой водой.  
1 — анод; 2 — патрубок; 3 — бачок; 4 — стеклянная ножка анода.

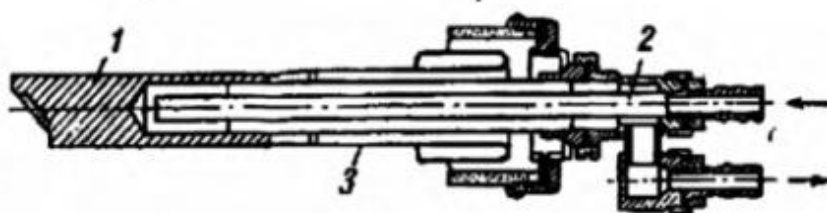


Рис. 2-56. Анод рентгеновской трубки, охлаждаемый проточной водой.

1 — анод; 2 — вилка охлаждающего устройства; 3 — стеклянная ножка анода.

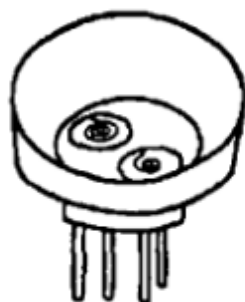


Рис. 2-62. Катод трубки с двумя круглыми фокусами.



Рис. 2-63. Катод трубки «аутофок».



**Умовне позначення трубок для структурного аналізу містить наступні позиції:**

1. Потужність трубки, кВт.
2. Безпечність трубки для обслуговуючого персоналу (літера Б).
3. Призначення трубки (літера С – для структурного аналізу, літера П – для просвічування, Д – діагностичні, Т - терапевтичні).
4. Охолоджуюче середовище (літера В – вода, літера М – масло).
5. Номер моделі (трубки для структурного аналізу) або максимальна напруга, що прискорює, кВ (трубки для дефектоскопії).
6. Матеріал дзеркала анода.

Наприклад:

2,0 БСВ-23 Со – трубка потужністю 2,0 кВт, безпечна (у захисному кожусі), призначена для структурного аналізу і має водяне охолодження, модель 23, анод – кобальтовий (рис. 1.6).

3 БПМ-200 – трубка потужністю 3,0 кВт, безпечна, призначена для просвічування, охолоджується маслом, що циркулює за замкнутим контуром. Максимальна напруга – 200 кВ.

У фізичному сенсі - це величина засвічення світлочутливого елемента. Як такий елемент в сучасних теле-фото-відео-камерах застосовується фотоматриця, а в засобах радіографічного неруйнівного контролю - радіографіческая плівка, цифрові детектори і запам'ятовують пластини.

- У всіх випадках світлочутливі елементи нездатні відтворити широкий діапазон яскравості об'єкту, що знімається; звідси виникає необхідність точного дозування кількості світла. Якщо в фотографії це дозування, а з ним і експозиція, регулюються діафрагмою об'єктива і часом витримки, то в радіографії це досягається зміною величини анодного струму рентгенівської трубки і часом витримки, а в імпульсних р / а тільки часом витримки.

- Експозиція в радіографії є одним з основних параметрів, що впливають на якість зображення. При рентгенографії зварних швів, наприклад, експозиція повинна бути такою, щоб оптична щільність шва і еталона чутливості на знімку була не більше 3,5 і не менше 1,5 одиниць. Вона безпосередньо залежить від потужності рентгенівського випромінювання, тривалості експонування, фокусної відстані і світлочутливості фотоматеріалу.

- камера експозиція в міліампер-хвилині (мА × хв), де: мА - анодний струм трубки, а хв - час у хвилині.

- Номограми для визначення часу експозиції просвічування стали рентгенівським апаратом СБК-200 СП при  $F = 750\text{мм}$  на плівку D7 зі свинцевими екранами, необхідна оптична щільність - 2.

- Вибір експозиції на практиці проводиться, в більшості випадків, за номограмами, які наводяться в інструкціях до рентгенівським апаратів і вказуються в характеристиках фотоматеріалів. Уточнюється ця величина шляхом пробних знімків. У тих випадках, коли умови, при яких проводиться зйомка, відрізняються від рекомендованих в методичних вказівках, застосовуються поправочні коефіцієнти.

1.1. В імпульсних рентгенівських апаратах живлення рентгенівської трубки здійснюється короткочасними імпульсами напруги, що йдуть з низькою частотою. Ефективна потужність даних апаратів найнижча, що забезпечує низьку якість зображення. Катод більшості таких апаратів не має напруження, і побудований за принципом вибуховий емісії і досить швидко виходить з ладу. Трубку необхідно часто міняти. Таким чином, низька ефективність імпульсних рентгенівських апаратів змушує використовувати високочутливу рентгенівську плівку, посилюючі екрани, що призводить до погіршення якості зображення. У зв'язку з цим в країнах ЄС імпульсні апарати практично не використовуються. До переваг імпульсних апаратів можна віднести дуже малу вагу і розміри, а також низьку вартість. Ці гідності забезпечували досить широке поширення імпульсних апаратів в Росії, але останнім часом все більша увага приділятиметься якості одержуваного зображення і імпульсні апарати відходять в інший світ, навіть без будь-яких законодавчих заборон. Характерний представник імпульсних

рентгенівських апаратів - апарат Аріна. Потужність випромінювання 50 Вт, ресурс роботи рентгенівської трубки - 50 годин. 1.2. Напівперіодні рентгенівські апарати є наступним кроком після імпульсних. Вони містять підвищувальний трансформатор, але не мають помножувача. Випрямлячем напруги служить сама рентгенівська трубка, яка є діодом. Напівперіодні апарати, як і випливає з їх назви, використовують тільки половину синусоїди високої напруги. Напівперіодні апарати працюють на низьких або середніх частотах. В середньому ефективність напівперіодного апарату поступається високочастотного апарату постійного потенціалу в 4 рази. До напівперіодного апаратів відносяться відомі в Росії апарати Balto і ICM. 1.3. Низько і середньочастотні апарати постійного потенціалу. Ці апарати вже містять помножувач напруги і забезпечують харчування трубки напругою, наближеним до постійного. Низько і середньочастотні апарати поступаються за ефективністю високочастотним. Прикладом низькочастотного апарату є переносний апарат РАП. 1.4. Високочастотні апарати постійного потенціалу. Вони є вершиною розвитку. Частота перетворення в таких апаратах зазвичай перевищує 20 кГц. Напруга на трубці можна вважати майже постійним. Ефективність виходу рентгенівського випромінювання найвища і обмежується тільки фізикою рентгенівської трубки. Номограми у високочастотних апаратів постійного потенціалу приблизно збігаються. Представниками цього сімейства є апарати Smart, Eresco, РПД, СБК.

Умовне позначення рентгенівської трубки являє собою комбінацію букв та цифр. Перша цифра - потужність трубки в кіловатах; другий знак визначає рід захисту (Р - захисна від випромінювання, Б - захисна від випромінювання і високої напруги, відсутність літери вказує на відсутність захисту); третій знак визначає призначення рентгенівської трубки (Д - діагностика, Т - терапія); четвертий - вказує спосіб охолодження (До - повітряне радіаторне, М-масляний, повітряний, відсутність букви означає охолодження випромінюванням); п'ята цифра вказує максимальна анодна напруга в кіловольтах. Так, наприклад, 6-РДВ-110 - шестикіловатная захисна діагностична трубка з водяним охолодженням на 110 кв; трубка 1-Т-1-200-терапевтична, без захисту, охолодження випромінюванням, потужністю 1 кет на напружено 200 кв (умовний номер 1).