

## БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА

*Орел В. Е., докт. біол. наук, проф. (Національний Інститут Раку);  
Мошонько О. І., студ. (гр. БМ-62, ФБМІ КПІ ім. Ігоря Сікорського);  
Демчук Г. В., к.т.н., доц. (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

**Анотація.** Виконано перевірку безпеки експлуатації комп'ютерного томографа, в тому числі, проведено розрахунок засобів захисту від радіації на медичний персонал внаслідок проведення процедури комп'ютерної томографії. Перевірка виконання норм безпеки персоналу відповідно до чинного законодавства відбувалися на базі кабінету проведення дослідження Національного Інституту Раку України.

**Ключові слова:** комп'ютерна томографія, вплив радіації на персонал, допустима потужність дози, засоби захисту.

**Abstract.** The safety of the CT scanner has been checked, including the calculation of radiation protection equipment by medical personnel as a result of the CT scan. The verification of compliance with the personnel safety standards in accordance with the current legislation was conducted on the basis of the study room of the National Cancer Institute of Ukraine.

**Keywords:** computed tomography, radiation exposure on personnel, acceptable dose rate, remedies.

**Вступ.** Розвиток медицини безпосередньо пов'язаний із використанням сучасних засобів діагностики. Зокрема у онкології діагностика патологій практично неможлива без методів візуалізації. До цих методів відносяться рентгенологічне дослідження, ультразвукове дослідження, магнітно-резонансна томографія, комп'ютерна томографія. Ці дослідження допомагають виявити новоутворення, встановити локалізацію, створити об'ємну модель і зв'язки з оточуючими структурами, що є необхідним для планування подальших процедур. Проте, експлуатація подібних апаратів для діагностики пов'язана із низкою ризиків, зокрема для персоналу. Для забезпечення безпеки слід виконувати заходи з охорони праці.

**Аналіз стану питання.** Особи, які проводять процедури медичної візуалізації протягом робочого дня перебувають під впливом багатьох чинників, в тому числі, радіації. Низка ризиків які спричинені середовищем може призвести до небажаних наслідків, в тому числі погіршення стану здоров'я персоналу. Проведення розрахунків та порівняння реальних і допустимих значень необхідно для перевірки відповідності кабінету та персоналу надавати послуги [2]. Дослідження правдяться на базі Національного Інституту Раку.

**Мета роботи:** розрахунок значень впливу небезпечних факторів внаслідок проведення комп'ютерної томографії на осіб, що забезпечують проведення процедури.

**Методики, матеріали і результати досліджень.** Комп'ютерна томографія проводиться в кімнаті довжиною 8.3 метра та шириною 6.5

метрів. Дана кімната розділена на 2 частини. В першій частині знаходиться, власне, томограф. Друга частина відділена від першою цегляною стіною із наявним у ній вікном спостереження та дверима і слугує для перебування рентгенлаборантів. На рисунку 1 зображено схема приміщення. Схема створена на основі вимірювань, та спроектована у середовищі AutoCad. У таблиці 1 наведено перелік елементів, що знаходяться на схемі.

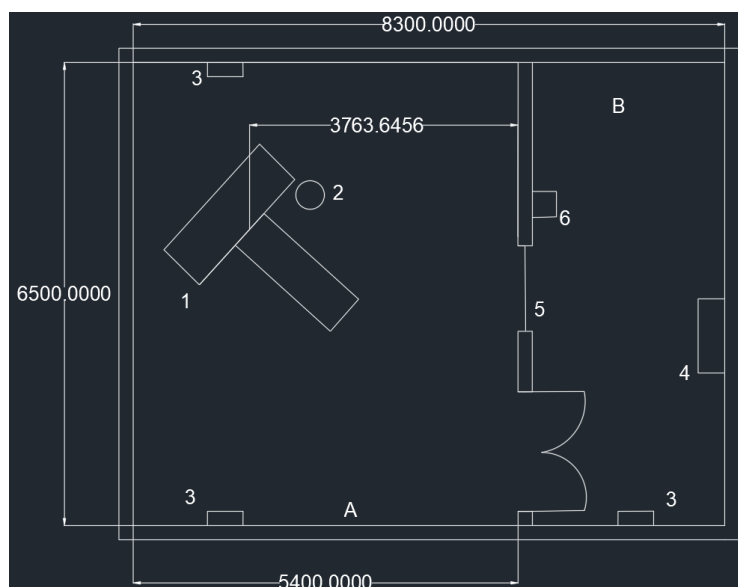


Рис 1. План приміщення де проводяться дослідження

Таблиця 1.

Перелік елементів комп'ютерного томографу

| Назва                         | Характеристика                  | Номер | Кількість |
|-------------------------------|---------------------------------|-------|-----------|
| Комп'ютерний томограф         | 2 x 0,7x4 м                     | 1     | 1         |
| Прилад для введення контрасту | 2 x 0,2 м                       | 2     | 1         |
| Кондиціонер                   | 0,55x0,78x0,27м                 | 3     | 3         |
| Шафа                          | 1,2 x 5 м                       | 4     | 1         |
| Захисне скло                  | 0,9 x 1,2 м                     | 5     | 1         |
| Комп'ютер                     | FM-11-1 W7NB, 220В/50 Гц, 450Вт | 6     | 2         |
| Приміщення для томографа      | 6.5 x 5.4 м                     | А     | 1         |
| Приміщення для лаборантів     | 6,5 x 2.8 м                     | Б     | 1         |

Розглянемо основні типи небезпек, які спричиненні внаслідок проведення КТ. Вони наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Основні типи небезпек

| Вид небезпеки | Джерела небезпеки                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Фізичні       | Електронезбезпека (комп'ютер, томограф)<br>Радіологічна небезпека (томограф) |
| Хімічні       | Контрастна речовина                                                          |
| Біологічні    | Кров                                                                         |

Більш детально розглянувши кожну з небезпек можна виділити наступний види (таблиця 3):

Таблиця 3.

Основні види небезпек

| № | Найменування функціонального блоку обладнання | Джерело небезпеки                 | Причини небезпеки                    | Наслідки небезпеки                                 |
|---|-----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | Рентгенівська трубка                          | Томограф                          | Радіоактивне випромінювання          | Опіки, онкологічні захворювання, променева хвороба |
| 2 | Будь-який елемент приміщення                  | Радіоактивний пил                 | Радіаційне забруднення мікрочастинок | Опіки, онкологічні захворювання, променева хвороба |
| 3 | Ємності для контрастних речовин               | Контрастна речовина, радіонукліди | Токсична дія                         | Отруєння                                           |
| 4 | Голки, шприці                                 | Кров                              | Вірусна, бактеріологічна дія         | Зараження                                          |

Як вже зазначалося джерелом випромінювання є комп'ютерний томограф Toshiba Aquilion 16. У таблиці 4 наведені його характеристики.

Таблиця 4.

Характеристики томографа Toshiba Aquilion 16

| Характеристика                   | Параметр                                                                                                        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гентрі                           | 720 мм                                                                                                          |
| Поля сканування                  | 180, 240, 320, 400 і 500 мм                                                                                     |
| Кути нахилу                      | 22 °                                                                                                            |
| Товщина зрізів                   | 0,5 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм                                                                      |
| Система детекції                 | високоєфективний твердотільний детектор з 896 каналами                                                          |
| Напруга на рентгенівській трубці | 80, 100, 120 і 125 кВ                                                                                           |
| Струм рентгенівської трубки      | від 10 до 580 мА з (регулюється з кроком 5 мА від 10 до 50 мА і з кроком 10 мА для струмів трубки більше 50 мА) |
| Необхідні параметри живлення     | 200 ВТ змінного струму, 50 / 60Гц, 3-фазне живлення                                                             |

Спершу розглянемо небезпеку ураження персоналу радіацією.

Нормативні значення опромінення персоналу кожної категорії чітко регламентуються. У даному випадку персонал належить до категорії А. Категорія А (персонал) - особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань. Допустима

потужність дози (ДПД) - допустимий рівень усередненої за рік потужності ефективної дози при зовнішньому опроміненні. Чисельно дорівнює відношенню ліміту дози (ЛД) до часу опромінення (Т) протягом календарного року.

$$\text{ДПД} = \text{ЛД} / \text{Т}. \quad (1)$$

Для цієї категорії встановлено наступні нормативні значення ДПД: 13 мкЗв/год.

Очевидно, що найбільш небезпечним місцем є вікно для спостережень, оскільки воно розташоване напроти джерела іонізуючого випромінювання та має менший свинцевий еквівалент у порівнянні із цегляною стіною (таблиця 5). Тому коефіцієнт поглинання буде найменший на даній ділянці.

Таблиця 5.

#### Характеристики захисних матеріалів

| Матеріал захисту                       | Цегла | Скло    |
|----------------------------------------|-------|---------|
| Товщина захисту, мм                    | 510   | -       |
| Щільність матеріалу, кг/м <sup>3</sup> | 1800  | -       |
| Свинцевий еквівалент                   | 5     | -       |
| Додатковий захист                      |       |         |
| Матеріал захисту                       | -     | Свинець |
| Товщина захисту, мм                    | -     | 2,20    |
| Щільність матеріалу, кг/м <sup>3</sup> | -     | 11300   |
| Свинцевий еквівалент,                  | -     | 2,20    |

Згідно наказу міністерства охорони здоров'я України № 294 від 04.06.2007 про затвердження Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур» експлуатація комп'ютерного томографа має нести наступний характер (таблиця 6) та регламентовані рівні допустимої потужності дози (ДПД) при проектуванні стаціонарного захисту рентгенівського кабінету, значення коефіцієнтів зайнятості q, змінності n, тривалості опромінювання t<sub>p</sub> та ліміт дози (ЛД) для приміщень різного призначення та території (таблиця 7):

Таблиця 6.

#### Експлуатація томографів

| Рентгенівська апаратура | Робоче навантаження, W<br>(мА·хв/тижд) | Анодна напруга, кВ |
|-------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| Комп'ютерний томограф   | 400                                    | 125                |

Таблиця 7.

## Регламентовані рівні

| Приміщення, територія                                                                                                                             | ДПД      |        | q, відн. Од. | N, відн. Од. | t <sub>p</sub> , год/рік | ЛД, мЗв/рік |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|--------------|--------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                   | мкЗв/год | мР/год |              |              |                          |             |
| Приміщення постійного перебування осіб категорії А (процедурна, кімната управління, кімната готування барію, фотолабораторія, ординаторська тощо) | 13       | 1,3    | 1            | 1            | 1500                     | 20          |

Стаціонарні засоби радіаційного захисту процедурної рентгенівського кабінету (стіни, підлога, стеля, захисні двері, оглядові вікна, віконниці тощо) мають забезпечувати ослаблення ікс-проміння до рівня, при якому не буде перевищений річний ліміт дози (далі - ЛД) для відповідних категорій осіб, що опромінюються. Основою розрахунку радіаційного захисту є визначення кратності ослаблення (К) потужності дози рентгенівського випромінювання в даній точці за відсутності захисту (ПД<sub>0</sub>) до значення допустимої потужності дози (далі - ДПД), в одиницях поглинутої або експозиційної дози:

$$K = \text{ПД}_0 / \text{ДПД} = H W N / (30 r^2 \text{ ДПД}), \quad (2)$$

Значення ДПД при стаціонарному захисті процедурної рентгенівського кабінету розраховують, виходячи з основних лімітів доз ЛД (мЗв/рік) для відповідних категорій осіб, що опромінюються, і можливої тривалості їх перебування у приміщеннях різного призначення чи на території, за формулою:

$$\text{ДПД} = \text{ЛД} / (t_c \cdot n \cdot q), \text{ мЗв/год } (10^{-3} \text{ мкЗв/год}), \quad (3)$$

Значення радіаційного виходу Н береться з технічної документації на конкретний рентгенівський випромінювач і обов'язково перевіряється прямими вимірюваннями (перед введенням в експлуатацію нового випромінювача й далі не рідше 1 разу на 2 роки). Згідно останнім вимірам  $H=18\text{мГр}\cdot\text{м}^2/(\text{мА}\cdot\text{хв})$ .

Для апаратів з джерелом випромінювання, яке рухається під час одержання зображення (комп'ютерний і традиційний томографи, панорамний томограф, сканувальні апарати), значення N приймають рівним 0,1 [1].

Проведемо розрахунки:

$$\begin{aligned} \text{ДПД} &= 20 / (1500 \cdot 1 \cdot 1) = 0.013 \\ K &= 18 \cdot 400 \cdot 1 / (30 \cdot (3.76)^2 \cdot 0.013) = 1306 \end{aligned}$$

У таблиці 8 наведена відповідність К та товщині свинцевого еквіваленту.

У розрахованому випадку  $K=1306$ , наближено обираємо значення  $K=1500$ . Згідно таблиці 2 напруга на аноді томографа складає 125 кВ,

обираємо наближене значення у 150кВ. Згідно даної таблиці товщина захисту має складати 2 мм., а у досліджуваному випадку вона складає 2.2 мм.

Таблиця 8.

Свинцеві елементи захисту в залежності від К

| одиниці | Свинцевий еквівалент (мм) при анодній напрузі (кВ) і фільтрі |     |     |     |     |     |
|---------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | 50                                                           | 75  | 100 | 150 | 200 | 250 |
|         | Товщина захисту із свинцю, мм                                |     |     |     |     |     |
| 1500    | 0.4                                                          | 0.9 | 1.6 | 2   | 2.8 | 5.2 |

Радіоактивний пил виникає внаслідок дії на мікрочастинки іонізуючим випроміненням. Даний пил знаходиться безпосередньо в повітрі чи осідає на пені елементи в кабінеті. Радіоактивність пилу залежить від сили та тривалості дії випромінення на нього. Зазвичай еквівалент не сильно високий і не становить суттєвої небезпеки протягом дня. Основною проблемою є його накопичення. Для забезпечення безпеки в кабінеті проведення КТ наявна система притоку повітря, поверхня стін і стелі гладкі, та допускають вологе прибирання, а також після завершення робочого дня персонал проводить вологе прибирання та дезінфекцію та генеральне прибирання, з використанням спецзасобів згідно встановленого графіку адміністрацією лікарні.

Використання контрастуючих речовин пов'язано із шкідливими впливом на організм у випадку перевищення їх дози. Є ризик токсичного отруєння та радіоактивного зараження. З метою збереження здоров'я персоналу, що контактують із даними речовинами використовуються спеціальні ємності для введення та збереження цих речовин, а також індивідуальні засоби захисту.

Ризик зараження персоналу присутній через безпосередній контакт із кров'ю пацієнта внаслідок введення контрастної речовини чи встановленні катетера для введення контрастної речовини за допомогою апарату.

У таблиці 2 наведено порівняльна характеристика реальних та нормативних факторів небезпеки, які створюються внаслідок проведення процедури (таблиця 9):

Таблиця 9.

Реальні та нормативні фактори небезпеки

| № | Фактор небезпеки                  | Реальне значення                   | Нормативне значення     |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 1 | Радіоактивне випромінювання       | 1080 мЗв/год                       | 13 мЗв/год              |
| 2 | Радіоактивний пил                 | Різний номінал, накопичувальна дія | 13 мЗв/год              |
| 3 | Контрастна речовина, радіонукліди | В наявності                        | Відсутність в організмі |
| 4 | Віруси, бактерії                  | В наявності                        | Відсутність в організмі |

Для забезпечення нормативних значень в кабінеті комп'ютерної томографії Національного Інституту Раку здійснюються такі заходи (таблиці 10-12):

Таблиця 10.

Заходи з забезпечення охорони праці при проведенні комп'ютерної томографії

| № | Група заходів ОП | Вид заходу                                       | Критерій вибору                               |
|---|------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | Технічні         | Товсті цегляні стіни, захисне скло               | Захист від випромінювання                     |
|   |                  | Значна відстань від джерела до кімнати персоналу | Зменшення випромінювання із відстанню         |
| 2 | Організаційні    | Первинний інструктаж з ОП                        | Навчання питань безпеки експлуатації          |
| 3 | Режимні          | Проведення вологого прибирання                   | Зменшення кількості радіоактивних мікрочасток |
| 4 | Експлуатаційні   | Перевірка значень випромінювання                 | Достовірність інформації                      |
| 5 | ЗІЗ              | Спецодяг                                         | Індивідуальний захист                         |

Введення вищезазначених заходів, згідно розрахунків дозволяє зменшити реальне значення впливу до нормованого значення. Але слід мати на увазі наступне: цегла повинна бути суцільною, без отворів, поглинання випромінювання цеглою може бути різним, будівельний розчин поглинає гірше ніж цегла, будівельний розчин часто не покриває цегляну стіну по всій товщині.

Таблиця 11.

Заходи з забезпечення охорони праці при введенні контрастних речовин

| № | Група заходів ОП | Вид заходу                                             | Критерій вибору                            |
|---|------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | Технічні         | Спеціальна шафа для зберігання                         | Захист від впливу навколишнього середовища |
|   |                  | Спеціальні ємності для зберігання                      | Захист від впливу на навколишнє середовище |
| 2 | Організаційні    | Первинний інструктаж з ОП                              | Навчання питань безпеки експлуатації       |
| 3 | Режимні          | Інвентаризація                                         | Перевірка терміну придатності, цілісності  |
| 4 | Експлуатаційні   | Проведення процедури ін'єкції за допомогою спецзасобів | Відсутність безпосереднього контакту       |
| 5 | ЗІЗ              | Спецодяг                                               | Індивідуальний захист                      |

Таблиця 12.

## Заходи з забезпечення охорони праці при введенні контрастних речовин

| № | Група заходів ОП | Вид заходу                                             | Критерій вибору                      |
|---|------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Технічні         | -                                                      | -                                    |
| 2 | Організаційні    | Первинний інструктаж з ОП                              | Навчання питань безпеки експлуатації |
| 3 | Режимні          | -                                                      | -                                    |
| 4 | Експлуатаційні   | Проведення процедури ін'єкції за допомогою спецзасобів | Відсутність безпосереднього контакту |
| 5 | ЗІЗ              | Спецодяг                                               | Індивідуальний захист                |

**Висновки.** Розрахунки здійснювалися на базі кабінету рентгенологічних досліджень Національного Інституту Раку. У ході проведення розрахунку впливу на персонал внаслідок проведення процедури комп'ютерної томографії були розраховані необхідні характеристики захисних елементів та заходи з забезпечення охорони праці. Конфігурація томографа, а також стан приміщення та захисту відповідає вимогам безпеки персоналу згідно чинного законодавства. Вплив небезпечних чинників на персонал мінімізовано, що дозволяє проведення даної процедури із великою імовірністю не отримати виробничу травму.

## Література

1. Про затвердження Державних санітарних правил і норм "Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгеновських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур". 04.06.2007 №294 – Режим доступу - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1256-07>
2. Орел В.Е., докт. біол. наук, проф. Лекції на тему «Радіаційна безпека та дозиметрія».