

## РАДІАЦІЙНІ АВАРІЇ З РАДІОНУКЛІДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ЗАПОБІГАННЯ

<sup>1</sup>Рушак Л.В., <sup>2</sup>Мурашко В.О., <sup>3</sup>Костенецький М.І.,  
<sup>1</sup>Вороненко В.В., <sup>1</sup>Мегедь В.П., <sup>4</sup>Салюта М.Ю.

<sup>1</sup>Українська військово-медична академія

<sup>2</sup>Національна медична академія післядипломної освіти  
імені П.Л. Шупика

<sup>3</sup>Запорізький лабораторний центр Державної  
санітарно-епідеміологічної служби

<sup>4</sup>Міжнародна академія екології та медицини

**Резюме.** *В статті висвітлені практичні питання щодо попередження та розслідування радіаційних аварій (РА) на промислових радіологічних об'єктах, в медичних та науково-дослідних закладах, та ліквідації їх наслідків.*

**Ключові слова:** *радіаційна аварія, джерела іонізуючого випромінювання, радіаційна безпека, променеве ураження.*

**Вступ.** Безпека є одною з найбільших цінностей людини. Разом з тим, жодна професійна діяльність не може гарантувати повну безпеку для працівника. Найчастіше через порушення правил безпеки праці відбуваються аварії, в тому числі й радіаційні, які спричиняють шкоду здоров'ю або призводять до летальних випадків, а суспільство зазнає значних матеріальних збитків. Радіаційні аварії є найбільш небезпечними, оскільки радіоактивні речовини не можливо виявити за допомогою органів чуттів, а лише завдяки спеціальним приладам. Крім того, радіоактивне забруднення, заподіяне радіаційною аварією, залишається на тривалий час, а дезактивація має обмежені можливості.

В теперішній час джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, енергетиці, науці та медицині. За даними Держсанепідслужби в

Україні нараховується біля 10 тисяч підприємств, закладів та установ, де використовуються різноманітні джерела, в тому числі більше 30 тисяч радіонуклідних приладів.

Особливо поширенні ДІВ в медичній практиці. Так, на кінець 2009 року в лікувально-профілактичних закладах України використовувались 10280 рентгенодіагностичних, 80 рентгенотерапевтичних та 118 гамма-терапевтичних апаратів.

Середньорічна активність радіонуклідних ДІВ, що використовуються в Україні на виробництві та медицині, становить біля 1млн. кюрі, що не виключає, як і в будь-якому виробничому процесі, виникнення надзвичайних ситуацій. Такі ситуації пов'язані з переопроміненням людей та радіаційним забрудненням навколишнього середовища.

**Мета роботи** – визначити шляхи запобігання радіаційним аваріям з радіонуклідними джерелами.

**Результати дослідження та їх обговорення.** В Україні протягом 1989–2008 років зареєстровано 365 РА, при цьому 52,6% з них сталося через відсутність або порушення радіаційного контролю, 30,7% – через крадіжку ДІВ, 5,5% – внаслідок втрати ДІВ, 4,9% – через технологічні причини, 3,6% – в результаті незаконного обігу. Найбільша кількість РА відбулася з індустріальними ДІВ в Донецькій (44,4%), Дніпропетровській (8,5%), Запорізькій (7,4%) та Луганській (6,8%) областях. За різними оцінками більшість пов'язана з неправильними діями персоналу, тобто зумовлені людським фактором. Недопустима недбалість і безграмотність при поводженні з радіоактивними матеріалами лежать в основі багатьох випадків РА. За даними МАГАТЕ щорічно реєструється біля 200 випадків вкрадених, загублених або кинутих напризволяще радіонуклідних джерел. Такі джерела можуть надходити у вигляді металобрухту, призначеному для переплавки, створюючи аварійну ситуацію. Викрадені ДІВ можуть бути використані для здійснення актів радіаційного тероризму.

Особливість радіаційної аварії полягає у складності установлення факту аварії. Про неї дізнаються після реєстрації променевого ушкодження. Характер впливу на навколишнє середовище

визначається агрегатним станом радіоактивних речовин, що розповсюджуються, а звідси механізмом надходження радіонуклідів до організму людини. Велике значення має також комбінація радіоактивного забруднення з пожежею, вибухом, метеорологічними опадами, затопленням тощо.

Характер радіаційної аварії визначається видом джерела, просторовими умовами і терміном опромінення.

Причинами РА найчастіше можуть бути: несправність устаткування; недоліки конструкції устаткування; некомпетентність персоналу (людський фактор); стихійні лиха, різка зміна інтенсивності метеофакторів (зливи, висока швидкість вітру), недостатній фізичний захист ДІВ, порушенні правил руху при транспортуванні радіоактивних матеріалів.

РА легше попередити, ніж ліквідувати її наслідки.

У разі стихійного лиха, попередити РА важко, але зменшити її наслідки цілком реально.

Індустріальні джерела іонізуючого випромінювання при нормальній роботі та у випадках радіаційних аварій по можливому радіаційному впливу на персонал та населення можуть бути розподілені, як це зображено в табл. 1.

Усі надзвичайні ситуації, які можуть виникати в процесі поводження з джерелами іонізуючого випромінювання, доцільно поділити на дві групи:

**1) радіаційний інцидент**, який, на думку МАГАТЕ, являє собою будь-яку ненавмисну подію, у тому числі помилки під час експлуатації, відмови устаткування та інші несправності, або несанкціоновані дії, реальні або потенційні наслідки яких не можуть ігноруватись з точки зору захисту або безпеки.

**2) радіаційна аварія** – це подія, внаслідок якої втрачено контроль за джерелом іонізуючого випромінювання або ядерною установкою, і яка призводить або може призвести до радіаційного впливу на людей та навколишнє природне середовище, що перевищує допустимі межі, встановлені нормами, санітарними правилами та стандартами безпеки. Розрізняють вогнище (центр) радіаційної аварії і зону радіоактивного забруднення.

Таблиця 1

**Основні види робіт с ДІВ та характер  
їх можливого радіаційного впливу на людину**

<b>Характеристика ДІВ або виду робіт</b>	<b>Можливий радіаційний вплив у разі РА</b>
<b><i>Використання радіонуклідних закритих та нерадіонуклідних (генеруючих) ДІВ</i></b>	
Радіонуклідні прилади	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
Радіонуклідні дефектоскопи	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
Радіонуклідний каротаж свердловин	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
Дистанційна та внутрішньопорожнинна радіотерапія	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
Рентгенівські апарати, установки рентгеноструктурного та рентгеноспектрального аналізу	Зовнішнє опромінення
Рентгенівська дефектоскопія	Зовнішнє опромінення
Потужна генеруюча радіаційна техніка в промисловості та медицині (прискорювачі)	Зовнішнє опромінення, Внутрішнє інгаляційне опромінення
Калібровочні джерела	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
<b><i>Використання радіонуклідних ДІВ у відкритому вигляді</i></b>	
Радіонуклідна діагностика та радіонуклідна терапія	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
Радіологічні лабораторії (радонові на штучному збагаченні води радоном, науково-експериментальні тощо)	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення
<b><i>Транспортування радіонуклідних ДІВ</i></b>	
Транспортування джерел іонізуючого випромінювання у відкритому та закритому вигляді	Зовнішнє, внутрішнє та контактне опромінення

Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи:

Перша група – аварії, що не супроводжуються радіоактивним забрудненням виробничих приміщень, проммайданчика об'єкту та навколишнього середовища;

Друга група – аварії, внаслідок яких відбувається радіоактивне забруднення виробничих приміщень, промайданчика об'єкта та навколишнього середовища.

Внаслідок аварій першої групи може статися підвищене опромінення людини тільки зовнішнім рентгенівським, гамма-, бета- та нейтронним випромінюванням, а також може мати місце контактне опромінення окремих ділянок тіла. Внаслідок аварій другої групи можливе як зовнішнє, так і внутрішнє і контактне опромінення.

МАГАТЕ розробило систему поділення закритих радіонуклідних джерел (ЗРД) на категорії згідно їх потенційної радіаційної небезпеки при найгіршому сценарії аварії (включаючи можливість диспергування радіоактивної речовини) [18]. Система базується на потенційній можливості таких наслідків радіаційної аварії, які можуть бути причиною детермінованих ефектів для здоров'я людини, і заснована на концепції (понятті) “небезпечного джерела”, визначеного як джерело, яке може призводити до опромінення людей, достатнього для виникнення детермінованих ефектів, якщо воно не знаходиться під належним контролем. Залежно від виду практичної діяльності, типу виробу або установки, що містить ЗРД, і активності радіонукліда встановлені межі п'яти категорій небезпеки ЗРД таким чином, що найбільш небезпечні джерела належать до категорії 1 – у термінології МАГАТЕ “надзвичайно небезпечно для людини”), а найменш небезпечні – до категорії 5 – “небезпека для людини маловірогідна”.

Мінімальна активність радіоактивної речовини для окремих радіонуклідів, яка може призводити до важких детермінованих ефектів, називається D – величиною (від англ. dangerous – небезпечно) При оцінці значень D – величин розглядалися дві групи сценаріїв (шляхів) опромінення :

- сценарії опромінення від радіоактивної речовини, що не розгерметизоване, в яких передбачалося, що людина носила незахищене джерело в кишені, що призводило до локальних ушкоджень м'яких тканин у результаті зовнішнього опромінення всього тіла і контактного місцевого

опромінення, або людина знаходилася поблизу від незахищеного джерела протягом періоду часу від декількох днів до тижня, що призводило до зовнішнього опромінення усього тіла людини. Для цих сценаріїв обчислювалася величина  $D_1$ ;

- сценарії опромінення від радіоактивної речовини, що розгерметизоване, в яких передбачалося інгаляційне надходження в організм радіоактивних аерозолів, потрапляння радіонуклідів з їжею і питною водою або контактне опромінення внаслідок радіоактивного забруднення шкіри. Для таких джерел обчислювалося значення величини  $D_2$ .

Як значення  $D$  – величини для кожного радіонукліда вибиралося мінімальне значення для розглянутих сценаріїв опромінення.

По масштабом, тобто розміру території та можливості опромінення персоналу та населення, радіаційні аварії поділяються на два класи: промислові та комунальні.

При промислових радіаційних аваріях радіоактивне забруднення не виходить за межі промислових приміщень та території проммайданчика. Аварійного опромінення може зазнавати тільки персонал підприємства. До промислових радіаційних аварій з радіонуклідним джерелом належать випадки, при яких відбуваються

- втрата джерела випромінювання або захисного блоку з джерелом, якщо джерело не потрапило за межі підприємства;
- випадіння джерела із захисного блоку або падіння блоку з джерелом із місця кріплення;
- розгерметизація джерела, якщо вчасно не прийняті заходи по недопущенню розповсюдження радіоактивного забруднення за межі виробничого приміщення;
- руйнування або погіршення якості радіаційного захисту захисного блоку з джерелом;
- виявлення неврахованого раніше джерела;

- опромінення персоналу дозою, що перевищує діючі нормативи, внаслідок виникнення критичної події;
- радіоактивне забруднення устаткування та території підприємства.
- руйнування радіонуклідного джерела при його транспортуванні, в результаті чого забруднюється транспортний засіб, а також навколишня територія у місці транспортної аварії.

Будь-які аварії, наслідки яких розповсюдилися за межі підприємства і обумовили підвищене опромінення населення вважаються комунальними аваріями.

Періодично у світі при використанні джерел іонізуючого випромінювання у медичній практиці трапляються випадки переопромінення людей, у тому числі і в смертельних дозах. Таким випадкам надається широка гласність, причини їх виникнення аналізуються і вживаються заходи для недопущення подібних аварій у подальшому.

В Україні ж про такі випадки інформується дуже вузьке коло фахівців без адекватної реакції органів, компетентних у сфері регулювання радіаційної безпеки. Тому реальні наслідки медичного опромінення в Україні потребують додаткового поглибленого вивчення і перегляду відношення до гласності. Реєстрація ускладнень променевої терапії організована не належним чином.

В медичній практиці найчастіше зустрічаються наступні види РА:

1. Асиметрія радіаційного поля в апаратах дистанційної гамма-терапії.
2. Зсув світлового центратора відносного радіаційного поля.
3. Відрив джерела від провідника в апаратах для брахітерапії і, як наслідок, його випадіння в приміщення або в порожнину тіла пацієнта. В результаті – неефективне лікування, радіаційні ураження здорових тканин.
4. Застрявання джерела в шлангопроводі, в результаті чого джерело опиняється без біологічного захисту і може створювати досить високу потужність дози в приміщенні. Слід зазначити, що поломка шлангового апарату, в результаті якої втрачена мо-

жливість виходу джерела із сховища, а також неможливість переведу джерела в робочий стан у дистанційному гамма-терапевтичному апараті не вважаються радіаційними аваріями.

5. Розгерметизація джерела для брахітерапії, дистанційної гамма-терапії, порушення герметичності кобальтових голок або джерел в аплікаторах.

Дев'ять основних причини радіаційного інциденту або радіаційної аварії в медичному закладі:

1. Повторне опромінення через діагностичну помилку або неякісно зроблений знімок.

2. Необґрунтоване повторне опромінення при переводі пацієнта в інший медичний заклад.

3. Опромінення іншого органу через неуважність персоналу.

4. Несправність устаткування, порушення блокування та ешелонування.

5. Використання різних систем одиниць для позначення характеристик джерел.

6. Терапевтичне опромінення не того пацієнта, не тією дозою, підведення пучка не на ту мішень, помилка при плануванні опромінення.

7. Неправильна інтерпретація показань приладів, неправильно визначена потужність нового джерела для дистанційної або брахітерапії.

8. Незадовільна організація технологічного процесу, нехватка кадрів, недисциплінованість персоналу, низька кваліфікація персоналу.

9. Поводження з РАВ з грубим порушенням технології та радіаційної безпеки.

Велику роль у виникненні радіаційної аварії відіграє людський фактор. Використання складної сучасної радіологічної апаратури потребує психологічного осмислення, що потребує належного морального і фахового стану працівника, його дисциплінованості, досконале знання технологічного процесу. Є недостатньо вивченими людський фактор в небезпечних професіях, у тому числі і з ДІВ, а також психологія людини у критичній ситуації. Слід звертати увагу на вік працюючих, не допускаючи ви-



користання ДІВ особами похилого віку. Це питання потребує спеціального вивчення.

Головними напрямками щодо попередження і зменшення збитків при РА є доцільне розміщення радіаційно-небезпечних об'єктів з урахуванням можливості РА, спеціальні заходи по обмеженню розповсюдження викидів радіоактивних речовин за межі санітарно-захисної зони, заходи по захисту персоналу та населення. Береться до уваги роза вітрів, сейсмічність зони, геологічні, гідрогеологічні та ландшафтні особливості.

Постійне підвищення кваліфікації працівників, відмінне знання технологічних процесів та правил додержання радіаційної безпеки є запорукою зниження вірогідності РА. Слід приділяти також вагу професійному відбору, віддаючи перевагу особам-сангвінікам, у крайньому випадку – флегматикам.. Холерики і меланхоліки є найгіршим варіантом при прийманні у спеціальні навчальні заклади та на роботу з ДІВ.

Вказані умови використовуються не тільки при розміщення звичайних радіологічних об'єктів, але й АЕС. Велика роль повинна відводитися морально-психологічній стійкості персоналу радіологічного об'єкту, підготовка його до можливої радіаційної аварії.

Розрізняють проектні, запроектні та гіпотетичні аварії. До проектних відносяться аварії, для яких проектом визначені початкові і кінцеві стани, на такі аварії передбачаються засоби безпеки.

До запроектних відносяться аварії, які не враховують початкові стани, міри радіаційного захисту на них не розраховані, наслідки вкрай тяжкі. Як правило, при запроектних аваріях спостерігається значне опромінення великої кількості людей, радіоактивне забруднення розповсюджується на великі території. Мають місце великі матеріальні збитки.

Гіпотетична РА – аварія, наслідки якої важко передбачити. Разом з тим, такі аварії теж можуть мати місце у разі збігу декількох маловірогідних факторів.

Заходи, що спрямовані на попередження промислових радіаційних аварій, є комплексом технічних та організаційних умов,

яких необхідно дотримуватись при експлуатації ДІВ на підприємстві. Запобіганню РА сприяє правильне розміщенні радіологічного об'єкту відносно населеного пункту, а також приміщень, де працюють з ДІВ відносно інших приміщень, безпосередньо не пов'язаних з використанням ДІВ.

На кожному радіологічному об'єкті повинна бути Інструкція з попередження радіаційної аварії і пожежі та ліквідації їх наслідків.

Вказана інструкція повинна включати:

- загальні положення;
- перелік основних приміщень, де працюють з ДІВ, а також характеристику суміжних приміщень, в яких можуть розміщатися хімічні лабораторії, де працюють з вибухонебезпечними речовинами;
- прогноз можливих аварій на даному об'єкті;
- перелік аварійних ситуацій, що є підставою для початку виконання дій щодо ліквідації аварії;
- перелік обов'язків керівника підприємства, що прибув до місця радіаційної аварії або пожежі;
- дії персоналу в разі виникнення аварійної ситуації;
- призначення складу та обов'язки комісії при ліквідації аварії. Особлива увага повинна приділятися розпізнаванню персоналом аварійної ситуації. Перевищення контрольних рівнів може бути передвісником РА. Придбання джерел і передача їх з одного підприємства на інше дозволяється тільки за спеціально оформленими замовленнями-заявками, узгодженими з органами державного регулювання.

Всі джерела, що використовуються на підприємстві, повинні бути оприбутковані в прибутково-видатковому журналі. На підприємстві повинна бути схема розміщення джерел на устаткуванні та місце знаходження такого устаткування.

### **Висновки:**

1. Багаторічний вітчизняний та закордонний досвід використання ДІВ у різних галузях свідчить про те, що суворе дотримання правил та норм радіаційної безпеки дає можливість за-

побігти виникненню надзвичайних ситуацій, які ми розцінюємо як РА, наслідками якої є радіаційне забруднення виробничого та навколишнього середовища, а також променеве ураження персоналу, що безпосередньо використовує ДІВ, і населення.

2. Причинами РА є порушення зберігання та транспортування ДІВ – 56%, порушення технологічної безпеки проведення робіт з джерелами – 33%, відмова переміщення джерела – 8%, інші причини – 3%.

3. РА, що трапляються на радіологічних об'єктах, часом навіть не дуже потужних, де немає високоактивних джерел, але є значна кількість джерел невисокої активності, мають високу вірогідність виникнення, а наслідки від неї можуть бути досить тяжкі, хоча і для обмеженої кількості осіб. Тому пильність і суворе дотримання правил поводження з ДІВ і дотримання правил радіаційної безпеки є запорукою недопущення РА.

### **Література:**

1. Закон України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку”. №39/95 – ВР (зі змінами).

2. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання” № 15/98-ВР (зі змінами).

3. Постанова КМУ від 02.06.2003 № 813 “Про затвердження порядку взаємодії органів виконавчої влади та юридичних осіб, які провадять діяльність у сфері використання ядерної енергії в разі виявлення радіонуклідних джерел іонізуючого випромінювання у незаконному обігу” (зі змінами) .

4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ) ДГН 6.6.1–6.5.001–98. Київ: МОЗ України, 1998. – 135с.

5. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам радиационной безопасности. МАГАТЭ.Вена.–2008.– 295 с.

6. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. ДСП 6.177–2005–09–02. Київ, 2005.

7. Санитарно-гигиенические требования к мероприятиям по ликвидации последствий радиационных аварий. МР 2.6.1.0050–11. М.2011.

8. Заиченко А.И., Польський О.Г., Коренков И.П. Контроль радиационной безопасности. М. Медицина. 1989. – 190с.
9. Мечев Д.С., Мурашко В.О., Коваленко Ю.М. Застосування джерел іонізуючих випромінювань у медицині та попередження надмірного опромінення персоналу і пацієнтів. Навчальний посібник. Київ-2010.
10. Костенецкий М.И., Кочин И.В. Техногенные радиационные аварии – организация защиты и медицинской помощи. Учебное пособие. Запорожье. 2003. – 33 с.
11. Вороненко В.В. Обґрунтування необхідності запровадження системного підходу до реагування на надзвичайні події, пов'язані із загрозами ядерного та радіологічного тероризму / Ю.М. Скалецький, В.Ф. Торбін // Військова медицина України. – 2011. – Т. 11., № 3–4. – С. 113–117.
12. Новикова Л.В., Соколина Л.Л. Медицинские и гигиенические аспекты радиационных аварий. Учебное пособие М. ЦОЛИУВ; 1988. – 66с.
13. Руководство по обеспечению радиационной безопасности при локализации и ликвидации радиационных аварий и катастроф на объектах России. М. МЧС. 1996.–110с.
14. Севальнев А.І., Пазиніч В.М., Костенецький М.І. Радіаційна гігієна. Навчальний посібник. Запоріжжя. – 2009. – 115 с.
15. Радіаційна гігієна: Підручник / За ред. проф. В.Я. Уманського та проф. С.Т. Омельчука. – Донецьк, Норд-Прес, 2009. – 143 с.
16. Тарасюк О.Є., Цимбалюк О.М. Використання терміну “радіаційна аварія” в українських законодавчих нормативних документах та міжнародних рекомендаціях // Зб. Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України. Київ. 2009. – 34–36.
17. Черняков Г.О., Кочін І.В., Сидоренко П.І., Букін В.Є., Костенецький М.І. Медицина катастроф: Підручник / За ред. доктора медичних наук І.В. Кочіна. – Київ: Здоров'я, 2001. – 348 с.
18. Категоризация радиоактивных источников. Серия норм по безопасности № RS-G-1.9. МАГАТЭ. Вена. 2005.
19. Опасные количества радиоактивного материала (Д- величины). МАГАТЭ. Вена. 2010. – 163 с.

## **РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ С РАДИОНУКЛИДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ И ПУТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

**Рущак Л.В., Мурашко В.А., Костенецкий М.И.,  
Вороненко В.В., Мегедь В.П., Салюта М.Е.**

**Резюме.** *В статье освещены практические вопросы относительно предупреждения и расследования радиационных аварий на промышленных радиологических объектах, в медицинских и научно-исследовательских учреждениях, и ликвидации их последствий.*

**Ключевые слова:** *радиационная авария, источники ионизирующего излучения, радиационная безопасность, лучевое поражение.*

## **RADIATION ACCIDENTS WITH RADIATION SOURCES AND WAYS OF THEIR PREVENTION**

**L.Ruschak, V.Murashko, M.Kosteneckiy, V.Voronenko,  
V.Meged, M.Saluta**

**Summary.** *In the articles lighted up practical questions are in relation to warning and investigation of radiation accidents on industrial radiological objects, in medical and research establishments, and liquidation of their consequences.*

**Keywords:** *radiation accident, radiation safety, radial defeat.*