

УДК 614.876:331.45:539.16.08:699.887.3

## ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ЛЮДИНУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЇЇ ПОЛОЖЕННЯ ТА АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Пилипенко О. В.<sup>1</sup>, к. т. н., доц., Шаломов В. А.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.,  
Руденко В. П.<sup>3</sup>, аспір., Тимченко П. О.<sup>4</sup>, аспір.

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури*

<sup>1</sup> [pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua); <sup>2</sup> [shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua](mailto:shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua);

<sup>3</sup> [rudenko.vacheslav@365.pdaba.edu.ua](mailto:rudenko.vacheslav@365.pdaba.edu.ua); <sup>4</sup> [tumchenko.pavlo@365.pdaba.edu.ua](mailto:tumchenko.pavlo@365.pdaba.edu.ua)

**Постановка проблеми.** Статистичні методи збору інформації, використовуються вже більше трьохсот років, але кожна галузь має свої специфічні вихідні та вхідні параметри для надання загальної або окремої оцінки. В радіаційній безпеці, широке застосування знайшов метод Монте Карло [1], який має досить зрозумілий інструментарій, але сильно залежить від кількості ітерацій, а також від параметрів та швидкодії обчислювальної техніки.

**Мета роботи** полягає в удосконаленні підходів щодо визначення впливу певних джерел іонізуючого опромінення на організм людини, в залежності від двох базових чинників: розташування робочого місця людини та параметрів джерел іонізуючого випромінювання.

**Основна частина.** Після прийняття в Україні Постанови № 62 [2], було визначено напрямок руху щодо встановлення державних (регіональних) радіаційних регламентів, які базувались на рекомендаціях Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) № 60 [4]. До 2000 року, Україна створила повний комплект нормативно-правових документів у сфері радіаційної безпеки, з часом було видано МКРЗ № 74, 89, 103 та 119 [4], які заповнили певні прогалини в знаннях та затвердили вимоги не тільки до регламентів 1 та 3 групи, але й до регламентів 2 групи. Після підписання низки директив та доопрацювання додаткових розділів в існуючих нормативних документах, наша держава почала гармонійний розвиток медичних та техногенно-підвищених регламентів, з розширенням значень та додатковими поясненнями чи тлумаченнями в ядерній енергетиці. Так, Директива 2013/59/ЄВРАТОМ застосовується до будь-якої ситуації планового, існуючого або аварійного опромінення, що пов'язана з ризиком іонізуючого випромінювання, яким не можна нехтувати з точки зору радіаційного захисту або з огляду на довкілля, зважаючи на довгостроковий захист здоров'я людини [3].

Знання методик, підходів і висока компетентність фахівців медичної галузі, променевої терапії, променевої діагностики, хірургії з використанням джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ), пов'язаних з медичним опроміненням, проведення томографії, рентген-обстежень, стоматологічних та інших радіологічних процедур, дозволило досягти максимально належний захист пацієнтів, які проходять медичні променево-діагностичні і променево-терапевтичні процедури. Одним з чинників у медичній галузі є також реабілітація, додаткові, випадкові та ненавмисні медичні опромінення, нагляд після їх реалізації та запобігання випадковому та ненавмисному медичному опроміненню і ліквідації наслідків у випадках, коли воно відбувається. Зокрема визначення та вивчення ризиків у променевій терапії, для уникнення таких інцидентів, для чого це було введено в практику облікових записів, повідомлень, аналізу та коригувальних протипроменевих заходів.

Можна сказати, що вищезазначені досягнення у медичній сфері та атомній промисловості, не вирішені для працівників та фахівців, які працюють на

хвостосховищах, шламонакопичувачах та відвалах з радіоактивними джерелами випромінювання. Тому надбання та практичні досягнення з цих питань необхідно застосовувати і в цьому сегменті робіт. Для цього було створено базову систему вихідних даних зі знанням та розрахунком часу опромінення та щільності певних органів людини (тіла взагалі як органу). Задача про поведінку такої системи формулюється системою інтегровано-диференціальних рівнянь. Такі рівняння відомі в кінетичній теорії газів як рівняння Больцмана. У теорії ймовірностей дещо схожі ситуації описуються рівняннями Фоккера-Планка. Дуже спрощена версія такої задачі приводить до рівняння [1]:

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial t} = a(x, y, z)\Delta u + b(x, y, z)u(x, y, z). \tag{1}$$

Знаючи середнє значення щільності шкіри людини і її органів та час опромінення можна визначити як джерело іонізуючого опромінення впливатиме на організм та які ризики можуть мати місце у майбутньому. Спершу треба визначити в якому статичному чи динамічному стані може перебувати людина. Розглянемо чотири базові положення тіла людини: лежачі, сидячі, стоячі та в стані руху (рис. 1).

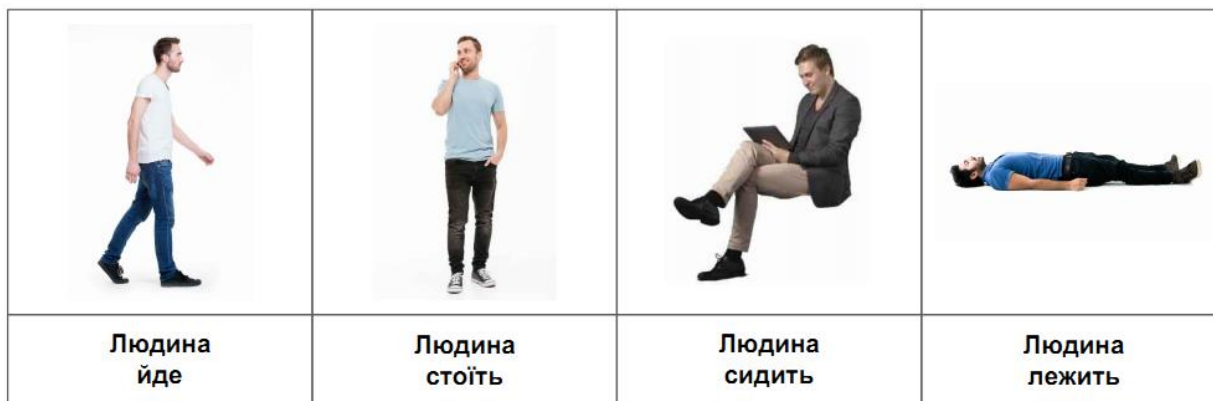


Рис. 1. Розташування тулубу людини

Найбільш доцільним є положення коли фахівець іде з точки А в точку Б, проводячи дослідження чи вимірюючи чисельні значення на об'єкті де зберігаються (за складовані) радіаційні речовини, матеріали або радіонукліди.

Другим базовим питанням є кількість (маса або об'єм) речовини і як вона впливає на персонал що обслуговує хвостосховища та відстійники з радіаційними відходами ядерно-паливного циклу. Дуже спрощена версія такої задачі розглядалась у попередніх роботах [5] і приводиться до умови впливу альфа-випромінювання, бета-випромінювання, а також впливу електромагнітних випромінювань: нейтронного та гамма-випромінювання, які можуть впливати в одній (тільки x, y, z) площині, у двох (пари ху, zx, yz) площинах, з усіх боків одночасно (хуz), в газових, рідких і твердих системах, що відображено на рис. 2 та описане рівнянням 2.

$$H_{\Sigma_{ef}} = f \left[ \begin{pmatrix} K\alpha_{газ} \\ K\alpha_{pid} \\ K\alpha_{тв.м.} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K\beta_{газ} \\ K\beta_{pid} \\ K\beta_{тв.м.} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K\gamma_{газ} \\ K\gamma_{pid} \\ K\gamma_{тв.м.} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Kn_{газ} \\ Kn_{pid} \\ Kn_{тв.м.} \end{pmatrix} \right] dm / dt . \tag{2}$$

Третім базовим питанням є антропометрія тіла людини, її вік та стан фізіологічного здоров'я. Для цього необхідно прийняти три типи людини з діапазоном віку [6] від 18 до 60 років та певною антропометрією [7] представлених нижче (рис. 3, а–в).

Дослідники давно намагалися об'єднати людей за спільними ознаками в окремі групи – типи конституції (від лат. *constitutio* — будова тіла). Класифікації базувалися на різних принципах: морфологічних, функціональних, біохімічних, нейрореактивних, гормональних тощо. Нижче наведено типи конституції за М. В. Чорноручьким, що ґрунтуються головним чином на морфологічних, біохімічних і деяких функціональних ознаках.



Рис. 2. Напрямки впливу джерела іонізуючого опромінення на людину в площині Zp

Астенічний тип – високий (рідше середній) зріст, видовжена грудна клітка з гострим підгрудничним кутом, довга шия, вузькі плечі, відносно довгі кінцівки, ніжна тонка бліда шкіра, слабко розвинута підшкірна клітковина. Серце невеликих розмірів, легені видовжені, кишки короткі, тиск крові знижений; переважають процеси дисиміляції.

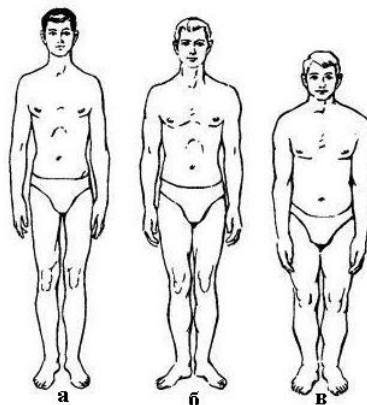


Рис. 3. Три типи конституції людини за антропометричними даними:  
а – астеничний, б – нормостенічний, в – гіперстенічний

Гіперстенічний (пикнічний) тип – риси в цілому прямо протилежні попередньому: зріст середній або нижчий за середній, тіло масивне, багате жировідкладення (схильність до повноти), порівняно короткі кінцівки, короткі грудна клітка й шия, великий живіт, велике серце, довгі кишки, схильність до підвищеного тиску; переважають процеси асиміляції.

Нормостенічному типу властива пропорційна гармонійна будова тіла, добре розвинуті у більшості випадків кісткова і м'язова тканини. Вважається, що

нормостенічний тип займає середнє положення між астенічним і гіперстенічним типами.

**Висновок.** Підвищення рівня зовнішнього опромінення людини залежить від низки основних, базових та специфічних умов знаходження на робочому місці, наявності одного чи більшої кількості джерел опромінення, лінійної/постійної або змінної/імпульсної дії джерела, щільності потоку, виду ізотопу. До вищезазначених показників треба додати також форму тіла, розташування тулубу відносно джерела опромінення та антропометричні данні людини, що збільшить вірогідність визначення індивідуальної ефективної дози опромінення на групи органів та на все тіло людини. Як результат можна більш чітко визначити ризик виникнення стохастичних і детермінованих ефектів які можуть мати місце в залежності від розташування робочого місця та розташування тулубу людини з антропометрією включно.

Для подальших досліджень необхідно використовувати інші типи моделей таких як модель типу «дерево подій» яке використовує початкову подію в якості вихідної (початкової) позиції розвитку сценарію критичної події, або модель типу «SWOT-аналіз», для визначення сильних та слабких факторів, що більше чи менше впливають на систему опромінення, або модель «ризик-орієнтованого» підходу з концепцією нульового ризику опромінення.

### Список використаних джерел

1. The Monte Carlo method. *J. Amer. Statistical Assoc.* 1949. URL: <http://links.jstor.org/sici?sici=0162-1459%28194909%2944%3A247%3C335%3AТМСМ%3Е2.0.СО%3В2-3>.
2. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» : Постанова Головного санітарного лікаря України № 62 від 01.12.97, м. Київ.
3. Директива ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року. Про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом. URL: [https://snriu.gov.ua/storage/app/sites/1/docs/pereklady\\_direktivy/radi-201359evratom.pdf](https://snriu.gov.ua/storage/app/sites/1/docs/pereklady_direktivy/radi-201359evratom.pdf).
4. Перелік публікацій Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ). URL: <https://www.icrp.org/page.asp?id=5>.
5. Соколов І. А., Запрудін В. Ф., Беліков А. С., Пилипенко О. В., Гупало О. С., Савицький М. В. Радіаційна безпека житлових будівель : підруч. для студ. ВНЗ з грифом МОН (№ 14/18-Г-1583). Дніпропетровськ, 2008. 313 с.
6. Публікація МКРЗ 69. Вік-залежні дози осіб з населення від надходження радіонуклідів.
7. Беліков А. С., Шаломов В. А., Кульбач А. А., Калда Г. С., Коваленко О. В., Бородіна Н. А., Третяков О. В., Данченко Ю. М. Ергономіка в будівництві. Дніпро : Журфонд, 2022. 219 с.