

DOI: 10.18372/2310-5461.41.13532

УДК 504.5:628.4.047(045)

В. П. Петрусенко, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-003-3120-9379
e-mail: petrussenko76@ukr.net;

Т. І. Дмитруха, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-001-5195-9519
e-mail: Dmitrucha79@gmail.com

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ПРИ ВЖИВАННІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ ВМІСТОМ СТРОНЦІЮ ТА ЦЕЗІЮ

Вступ

Серед проблем, які стоять перед сучасним суспільством, стан навколишнього середовища посідає одне з ключових місць. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, на початку ХХІ століття в промисловості і сільському господарстві, використовувалось близько 500 тис. хімічних сплавів та речовин, із яких близько 40 тис. є шкідливими для здоров'я і близько 12 тис. токсичними.

Забруднення атмосфери, гідросфери, ґрунтів призводить до потрапляння шкідливих речовин в харчові ланцюги, в тому числі і ті, у яких споживачем є людина.

Постановка проблеми

Особливе місце посідає забруднення радіоактивними речовинами. Природні екосистеми, забруднені техногенними радіонуклідами із різних джерел: глобальні радіоактивні опади із атмосфери як результат випробувань ядерної зброї, значна кількість радіонуклідів потрапила в навколишнє середовище в результаті роботи атомних електростанцій та аварій на них тощо. На ранніх етапах після ядерної аварії або викидах найбільшу небезпеку мають йод-131, стронцій-89, рутеній-106 та ін. радіонукліди, які мають малий період напіврозпаду. У більш віддалені строки мають значний вплив радіонукліди з великим періодом напіврозпаду, які добре розчиняються в рідинах організму. До них відносяться цезій-137 та стронцій-90. Саме комбінований вплив цих двох радіонуклідів визначає характер ураження людей, що знаходяться на радіоактивно забрудненій території або вживають продукти харчування зі вмістом стронція-90 і цезія-137.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Радіаційні ризики є частиною екологічних ризиків і пов'язані з наявністю в навколишньому середовищі радіонуклідів природного та техногенного походження. Як і інші види техногенних ризиків, радіаційний ризик обумовлений також діяльністю підприємств атомної промисловості та енергетики характеризується ймовірністю виникнення у людини або її нащадків певного шкідливого наслідку, викликаного опроміненням, наприклад, смертю людини, збільшення ймовірності виникнення онкологічних захворювань або спадковими дефектами [1].

Оскільки прояв шкідливих радіаційних наслідків не має порогу, то в основі радіаційного ризику є прийнятний ризик, тобто ризик, який приймається суспільством і який не потребує планування і проведення яких-небудь захисних заходів (один випадок смерті у рік на 1 000 000 чоловік населення) [2].

Метою роботи є чисельний підрахунок ризиків для здоров'я людини при вживанні продуктів харчування зі вмістом цезію-137 і стронцію-90, впливу на тривалість життя населення, що вживає такі продукти.

Матеріал і результати дослідження

На сьогодні територія України знаходиться у періоді після аварійної фази (аварії на Чорнобильській АЕС), коли найбільшу небезпеку становить потрапляння в організм людини таких радіонуклідів як цезій-137 та стронцій-90 з продуктами харчування та водою. Кількісна оцінка їх наявності зображена у таблиці.

Цезій-137. Це лужний метал срібно-білого кольору, м'який, тягучий. У повітря миттєво загоряється.

Вміст радіонуклідів у ґрунтах, прісних водах та м'язових тканинах тварин (мкг/кг сухої маси) [3]

Радіонукліди	Ґрунти	Прісна вода	Рослини	Тварини
Цезій-137	4 (0,3–20)	0,00002	<0,001–0,08	0,07–1,6
Стронцій-90	250 (4–2000)	0,07	3–400	0,12–0,35

В природі цезій-137 входить до складу окремих мінералів. Добре накопичується ґрунтами (особливо чорноземами), бетта- та гамма випромінювач. Період напіврозпаду складає 30 років. На територію України випав у вигляді дисперсних частинок розміром від 2 мкм до кілька сотень мкм. Цезій-137 закріплюється у бідних на калій ґрунтах, а на ґрунтах багатих органікою добре засвоюється кореневою системою та легко переміщується у самих рослинах. У водному середовищі процеси міграції цезія-137 відбуваються інтенсивніше, тому у рибі він накопичується в значних кількостях. В організм людини потрапляє через шлунково-кишковий тракт. Легко всмоктується в шлунково-кишковому тракті (50–80 %) і вільно циркулює у складі крові всім тілом. Основна частина цезію-137 накопичується у м'язах (80 %), у кістках (8 %). Виводиться із організму сечею, калом, потом. Період біологічного напіввиведення із організму дорослої людини до 3-х місяців, у дітей віком до 15 років — 50 дб, до 5 років — 20 дб. Аналогічне накопичення цього радіонукліда відбувається і у тварин, але у корів більша частина цезію переходить у молоко, у курей – у яйця. За хімічними властивостями цезій-137 близький до калію і є його «конкурентом» (якщо в організмі дефіцит калію, то засвоюється цезій). При потрапленні в організм людини викликає лейкемію, рак молочної залози, печінки, пригнічення кісткового мозку, пухлини та інші захворювання.

Стронцій-90. Це сіро-білий метал, легкий, ковкий, пластичний. Входить до складу мінералів, беттавипромінювач. Період напіврозпаду 29 років. Входить до складу біологічної тканини тварин і рослин. У рослинах переважно накопичується у кореневій системі. Його також багато у зерні, листових овочах. Оскільки стронцій-90 добре розчиняється, він легко вимивається із ґрунтів і потрапляє у водойми, де активно накопичується гідробіонтами. Цей радіонуклід «конкурує» з кальцієм, тому у людей і тварин вибірково накопичується у кістках, деяке накопичення відбувається у нирках, щитовидній залозі, у легенях, відкладається також на стінках судин, сприяє інтенсивному відкладенню солей. Найбільше стронцію накопичується у молодих кістках.

Період біологічного напіввиведення — близько 20 років. Відсоток всмоктування стронцію залежить від віку (у дітей процент всмоктування вище); фізіологічного стану організму (період вагітності, лактації), прийому вітаміну D (вітамін прискорює всмоктування стронцію); кількості кальцію, що потрапляє в організм (чим більше потрапляє кальцію, тим менше всмоктується стронцій); статі (у чоловіків всмоктування стронцію відбувається інтенсивніше). У курей стронцій накопичується у шкаралупі яєць, у корів значна частина переходить у молоко. Стронцій-90 накопичується в організмі і може там знаходитися тривалий час, в результаті чого можуть виникнути різні радіоактивні ураження організму у вигляді затримки росту, зміни у кровотворних органах, зміни складу крові, порушення обміну речовин, зниження імунологічних та захисних властивостей організму. Стронцій-90 особливо небезпечний для дітей через активних ріст їх кісток.

Згідно з нормами ДН 6.6.1.1.-130-2006 граничнодопустимі рівні вмісту цезія-137 і істронція-90 у хлібі — 20 Бк/кг та 5 Бк/кг відповідно [4].

Якщо a -питома активність радіонукліда, що міститься у повітрі, воді або продуктах харчування, то повна активність цього радіонукліда (A), що потрапляє до організму людини за час t (кількість років) буде дорівнювати:

$$A = a \cdot M \cdot T, \text{ (Бк)}$$

де M — маса повітря, води або продукту харчування, що потрапила за один рік.

Викликана цією активністю ефективна доза внутрішнього опромінення (H): $H = A \cdot \epsilon$, (Зв), де ϵ — дозовий коефіцієнт радіонукліда. За допомогою цього коефіцієнта активність радіонукліда перераховується в відповідну до неї дозу внутрішнього опромінення. Для стронція-90 і цезія-137 при потрапленні з водою та їжею ці коефіцієнти дорівнюють відповідно $8,0 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк та $1,3 \cdot 10^{-8}$. Після обчислення значення дози внутрішнього опромінення H можна обчислити значення індивідуального радіаційного ризику за формулою: $r = H \cdot r_E$, де r_E — коефіцієнт індивідуального радіаційного

ризик. Цей коефіцієнт характеризує зменшення тривалості періоду повноцінного життя в середньому на $\beta=15$ років на один стохастичний (імовірнісний) випадок смертельного захворювання (в основному, раком). Згідно загальноприйнятих норм значення цих коефіцієнтів дорівнюють: $r_E = 5,6 \cdot 10^{-2}$ люд⁻¹·Зв⁻¹ — для виробничого опромінення (тобто для персоналу, що працює з іонізуючим опроміненням); $r_E = 7,3 \cdot 10^{-2}$ люд⁻¹·Зв⁻¹ — для населення.

Радіаційний ризик вважається прийнятним, якщо величина r не більша за $1,0 \cdot 10^{-6}$ люд⁻¹·Зв⁻¹. Значення r , які більші за $51,0 \cdot 10^{-6}$ люд⁻¹·Зв⁻¹ вважаються недопустимими.

Щоб обчислити радіаційний ризик, спочатку будемо визначати величину колективної дози внутрішнього опромінення. Вона буде дорівнювати добутку індивідуальної дози H кількість осіб, що попали під вплив опромінення: $K = N \cdot H$. Колективний радіаційний ризик буде дорівнювати добутку колективної дози K на значення коефіцієнта радіаційного ризику r_E : $R = r_E \cdot K$. Колективний радіаційний ризик визначає кількість випадків прояву стохастичних ефектів, кожний з яких характеризується зменшенням тривалості періоду повноцінного життя в середньому на $\beta=15$ років. Перемножуючи R та β можна отримати втрату колективної тривалості життя: $\Delta = R \cdot \beta$. Якщо вважати, що середня тривалість життя людини складає 70 років, то очікувана колективна тривалість життя певного колективу населення чисельністю N : $T_K = 70 \cdot N$. Відносна втрата колективної тривалості життя δ дорівнюватиме: $\delta = \Delta / T_K$. Для однієї людини середнє скорочення тривалості життя буде складати $70 - \Delta$ (років). Ця величина наочно характеризує індивідуальний радіаційний ризик.

Хлібобулочні вироби є одним із основних продуктів харчування мешканців України. Розглянемо вміст радіонуклідів у цих продуктах в таких кількостях: для стронцію-90 – 70 Бк/кг, для цезія-137 – 40 Бк/кг.

Такі дані характеризують вміст радіонуклідів на забруднених територіях України. Розрахуємо відповідно цим даним значення колективних та індивідуальних ризиків для мешканців міста з населенням 100000 чоловік, враховуючи те, що кожний житель України з'їдає за рік 130,8 кг хлібобулочних виробів.



$$a_1 = 70 \text{ Бк/кг}, \quad a_2 = 40 \text{ Бк/кг},$$

$$\varepsilon_1 = 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк}; \quad \varepsilon_2 = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк};$$

$$M = 130,8 \text{ кг/рік}; \quad t = 1 \text{ год},$$

$$N = 10^5 \text{ чол.},$$

$$r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ люд}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}.$$

Спочатку обчислюємо ризик, зумовлений потраплянням стронцію в організм однієї людини. Повна активність цього радіонукліда:

$$A_1 = a_1 M t = 70 (\text{Бк/кг}) 130,8 (\text{кг/год}) \cdot 1 (\text{год}) = 9156 \text{ Бк}.$$

Викликана цією активністю ефективна доза внутрішнього опромінення складатиме:

$$H_1 = A_1 \varepsilon_1 = 9156 (\text{Бк}) 8,0 \cdot 10^{-8} (\text{Зв/Бк}) = 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Зв}.$$

Колективна ефективна середньорічна доза буде дорівнювати:

$$K_1 = N H_1 = 1 \cdot 10^5 (\text{чол}) 7,3 \cdot 10^{-4} (\text{Зв}) = 73 \text{ чол} \cdot \text{Зв}.$$

Ризик, пов'язаний з потраплянням до організму цезію, обчислюємо аналогічно. Повна активність цього радіонукліда:

$$A_2 = a_2 M t = 40 (\text{Бк/кг}) 130,8 (\text{кг/год}) 1 (\text{год}) = 5232 \text{ Бк}.$$

Зумовлена цією активністю ефективна доза внутрішнього опромінення:

$$H_2 = A_2 \varepsilon_2 = 5232 (\text{Бк}) 1,3 \cdot 10^{-8} (\text{Зв/Бк}) = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ Зв}.$$

Колективна ефективна середньорічна доза буде дорівнювати:

$$K_2 = N H_2 = 1 \cdot 10^5 (\text{чол}) 6,8 \cdot 10^{-5} (\text{Зв}) = 6,8 \text{ чол} \cdot \text{Зв}.$$

Повна ефективна середньорічна доза: $K = K_1 + K_2 = 73 + 6,8 = 79,8 \text{ люд} \cdot \text{Зв}$.

Шуканий ризик буде складати:

$$R = r_E K = 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{люд}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) 79,8 (\text{люд} \cdot \text{Зв}) = 5,8.$$

тобто близько 6 випадків прояву стохастичних наслідків у вигляді зменшення тривалості періоду повноцінного життя в середньому на 15 років. Втрата колективної тривалості життя:

$$\Delta = R \beta = 5,8 \cdot 15 = 87,4 \text{ років}.$$

Якщо вважати, що середня тривалість життя людини складає 70 років, то очікуване колективне скорочення життя даного населення буде дорівнювати:

$$T_K = 70 \cdot N = 70 \cdot 1 \cdot 10^5 = 7 \cdot 10^6 \text{ років}.$$

Відносна втрата колективної тривалості життя буде складати:

$$\delta = \frac{\Delta}{T_K} = \frac{87,4}{7 \cdot 10^6} = 0,000012 = 0,0012 \%$$

Для однієї людини середнє скорочення життя складатиме:

$70\delta = 70 \cdot 0,000012 = 0,00084$ року = 0,3 дні.

Е цих підрахунках невраховане явище синергізму, що полягає у тому, що дія одного радіонукліда може посилювати дію іншого. Але це компенсується тим, що радіаційний ризик розраховується за допомогою безпорогової лінійної моделі, яка полягає в тому, що радіація викликає вплив навіть при малих дозах.

Висновки

1. Як видно з дослідження радіаційні ризики в даному випадку є значними, але не критичними. Тому потрібне вживання контрзаходів, для зменшення дозових навантажень та відповідних ризиків.

2. Для доцільного застосування заходів щодо захисту населення та навколишнього середовища в умовах безаварійної експлуатації підприємств атомної енергетики, так і в аварійних випадках, необхідне проведення ідентифікації, аналізу та оцінки екологічних ризиків.

Це необхідно також для системи прийняття рішень, тобто адміністративним органам, для мінімізації шкідливого впливу на навколишнє середовище та людину, запобігання аварій, зниження або нейтралізації негативних наслідків джерел екологічної небезпеки, підготовки до захисту населення та навколишнього середовища і забезпеченню екологічної безпеки, адекватному реагуванню на виникнення надзвичайних екологічних ситуацій.

3. Даний метод обчислення радіаційних ризиків можна застосовувати і для інших небезпечних радіонуклідів з відповідними дозовими коефіцієнтами для подальшого застосування адитивних моделей обчислення ризиків та розробки відповідних контрзаходів, включаючи і страховий захист населення, що мешкає на забруднених радіонуклідами територіях.

ЛІТРАТУРА

1. Мельник О. В. Радіоактивність, дози опромінення, радіаційний ризик. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка*. Вип. № 20. 2014. С. 284-285. DOI: 10.32626/2307-4507.2014-20.283-285.

2. Полькова Ю. С. Удосконалення системи управління техногенно-екологічною безпекою об'єктів, пов'язаних з радіаційними ризиками. *Вісник НАУ*. 2009. №3. С.238-244. DOI: 10.18372/2306-1472.40.1779.

3. Відбір проб, первинна обробка та визначення вмісту ^{90}Sr та ^{137}Cs в харчових продуктах. МВ 6.6.1-10.10.17.158-08. Київ, 2008. 27с.

4. ГН.6.6.1.1-130-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{90}Sr та ^{137}Cs у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи, затв. Наказом МОЗ України від 03.05.2006 №256, зареєст. Мінюст України 17.07.2006 р. за № 845/12719.

Петрусенко В. П., Дмитруха Т. І.

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ПРИ ВЖИВАННІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЗІ ВМІСТОМ СТРОНЦІЮ ТА ЦЕЗІЮ

У статті проаналізовано актуальність дослідження та значення оцінки екологічного ризику, зокрема радіаційного. Радіаційна безпека в наш час є однією з найважливіших завдань забезпечення безпеки життєдіяльності. З розвитком ядерної енергетики в багатьох країнах світу вона стала реальною загрозою радіоактивного забруднення навколишнього природного середовища та середовища проживання людини. Тому кількісна оцінка радіаційних ризиків дозволяє не лише оцінювати ступінь небезпеки для здоров'я людини, але і визначати необхідність проведення необхідних контрзаходів для зменшення екологічних ризиків. В роботі розглядається визначення екологічних ризиків від вживання хлібобулочних виробів з вмістом радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90. Ці радіонукліди мають тривалий період напіврозпаду, а їхня наявність у продуктах харчування, ґрунтах та воді є актуальною для території України. В статті подана коротка характеристика радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90, основні джерела та шляхи потрапляння в навколишнє середовище та до організму людини. Для визначення відповідного радіаційного ризику було використано коефіцієнти внутрішнього опромінення для вибраних радіонуклідів. При оцінюванні радіоекологічної небезпеки основним критерієм є доза для населення – за нею можна прогнозувати ризик наслідків опромінення. Для цього було підраховано індивідуальну та колективну дозу внутрішнього опромінення. На основі цих підрахунків при вибраних рівнях вмісту радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 були визначені колективні ризики, які визначають колективну тривалість життя певної кількості населення та середню втрату тривалості життя. Вибір оптимальної стратегії проведення контрзаходів на забруднених територіях повинен ґрунтуватися на аналізі негативних наслідків та ризиків, тому кількісна оцінка ризиків є одним із етапів забезпечення екологічної безпеки.

Ключові слова: дозовий коефіцієнт; колективна доза; коефіцієнт опромінення; радіаційний ризик; радіонуклід.

Petrusenko V. P., Dmytrukha T. I.

ASSESSMENT OF RADIATION RISKS FOR CONSUMPTION OF BAKERY CONTAINING STRONTIUM AND CESIUM

The article provides analysis of study actuality and importance of environmental risks assessment including radiation risks. Radiation safety is one of the most important tasks related to the life safety nowadays. With development of nuclear power engineering industry in many countries, the real hazard of nuclear pollution of environment and populated areas appears. Therefore the quantitative assessment of nuclear hazards allows it allows not only evaluate hazards level for human health but also determine need for the relevant countermeasures to diminish the environmental risks. In this research work detection of environmental risks arising from consumption of bakery containing radionuclides cesium-137 and strontium-90 is discussed. Those radionuclides have the extended half-life, and their presence in food products, soil and water is a real problem in Ukraine. The article provides the characteristics of radionuclides cesium-137 and strontium-90 and describes the main routs of getting them to environment and into human body. To determine the relevant radiation risk internal exposure factors for certain radionuclides were used. The key criterion at assessment of ecology nuclear hazards is the dose for population; it helps to predict the risks of consequences of radiation. For this purpose the collective and individual doses of internal expose were calculated. Based on these values the collective risks were determined at selected radionuclide levels of cesium-137 and strontium-90. These risks affect the collective span of life of certain part of the population as well as they are responsible for the mean loss of life span. The choice of the optimal countermeasures strategy on the polluted territories should rely on the analysis of negative consequences and risks, therefore the quantitative assessment is one of steps to assure the ecological safety.

Key words: dose factor; collective dose; exposure factor; radiation risk; radionuclide.

Петрусенко В. П., Дмитруха Т. И.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С СОДЕРЖАНИЕМ СТРОНЦИЯ И ЦЕЗИЯ

В статье проанализирована актуальность исследования и значение оценки экологического риска, в частности радиационного. Радиационная безопасность в наше время является одной из важнейших задач обеспечения безопасности жизнедеятельности. С развитием ядерной энергетики во многих странах мира она стала реальной угрозой радиоактивного загрязнения окружающей природной среды та среды обитания человека. Поэтому количественная оценка радиационных рисков позволяет не только оценивать степень опасности для здоровья человека, но и определять необходимость проведения необходимых контрмер для уменьшения экологических рисков. В работе рассчитывается значение экологических рисков от употребления хлебобулочных изделий с содержанием радионуклидов цезия-137 и стронция-90. Эти радионуклиды имеют длительный период полураспада, а их наличие в продуктах питания, почве и воде является актуальной для территории Украины. В статье наведена короткая характеристика радионуклидов цезия-137 и стронция-90, основные источники и пути попадания в окружающую среду та в организм человека. Для определения соответствующего радиационного риска были использованы коэффициенты внутреннего облучения для выбранных радионуклидов. При оценке экологической опасности основным критерием является доза для населения – по ней можно программировать последствия облучения. Для этого была подсчитана индивидуальная и коллективная доза внутреннего облучения. На основе этих подсчетов при выбранных уровнях содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 были подсчитаны коллективные риски, которые определяют коллективную продолжительность жизни определенного количества населения и среднюю потерю продолжительности жизни. Выбор оптимальной стратегии проведения контрмер на загрязненных территориях должен основываться на анализе негативных последствий и рисков, поэтому количественная оценка рисков является одним из этапов обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: дозовый коэффициент; коллективная доза; коэффициент облучения; радиационный риск; радионуклид.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2019 р.
Прийнято до друку 06.03.2019 р.