

ЕФЕКТИВНА ДОЗА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ВИКИДІВ ^{131}I З АЕС

Григор'єва Л.І., Григор'єв К.В.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

вул. 68 Десантників, 10, 54003, Миколаїв

ludmila.grygorieva@chmnu.edu.ua, kossss.iop@gmail.com

При нормальній роботі АЕС технологічний потік радіонуклідів надходить у довкілля з вентиляційних труб блоків і з водоскидних каналів. Основна маса викидної активності приходить на радіоактивні благородні гази та ^{131}I : потужність викиду їх у 10^5 разів перевищує потужність викиду довгоживучих аерозолів. Радіоактивні ізотопи йоду є леткими, тому у випадку розгерметизації ядерного реактора відбувається «залповий» викид їх у довкілля, який припиняється дуже швидко після припинення реакції поділу. Надалі вони випадають з атмосфери на поверхню ґрунту та рослинності, де їхня активність, завдяки коротким періодам напіврозпаду, зменшується фактично відповідно до закону радіоактивного розпаду. Радіоактивні ізотопи йоду, зокрема ^{131}I , відносять до основних радіаційних загроз для здоров'я людини через високий ризик опромінення населення внаслідок аварійних ситуацій на об'єктах ядерно-енергетичного комплексу. Разом з цим Україна є регіоном, в якому склалась несприятлива медико-соціальна ситуація, пов'язана природно зумовленим дефіцитом йоду в біосфері. Тому актуальність дослідження зумовлена необхідністю визначення рівнів ефективної дози опромінення для населення, яке мешкає в умовах йододефіциту та одночасно підвернене хронічному впливу викидів радіойоду з АЕС. За результатами радіоекологічних досліджень та моделювання встановлено, що ^{131}I складає до 63% і 29% внеску у середню ефективну дозу при інгаляційному та пероральному надходженні радіонуклідів до організму людини відповідно. Об'ємну активність ^{131}I у повітрі, ефективні дози від ^{131}I визначено, як функції фактору метеорологічного розбавлення, який розраховано для 16 румбів напрямків вітру. Ефективна доза від перорального надходження ^{131}I до людини для територій радіусом 2500 м навколо ПАЕС становить від 10 до 40 мкЗв/рік. Середня індивідуальна ефективна доза від надходження до людини харчовим шляхом суміші радіонуклідів, включаючи ^{131}I , складає від 2 до 9 мкЗв/рік. Для територій, розташованих у 30^м зоні навколо ПАЕС, величина середньої індивідуальної дози знижується до одиниць $\text{н}10^{-6}$ Зв, а для територій поза цієї зоною – до $\text{н}10^{-8}$ Зв. *Ключові слова:* газоаерозольні викиди АЕС, ^{131}I , фактор метеорологічного розбавлення, ефективна доза.

Effective dose of ionizing radiation from ^{131}I releases from NPPs. Grygorieva L., Grygoriev K.

During normal NPP operation, the process flow of radionuclides enters the environment from the ventilation pipes of the units and from the spillways. The bulk of the release activity is accounted for by radioactive noble gases and ^{131}I : their release rate is 105 times higher than that of long-lived aerosols. Radioactive isotopes of iodine are volatile, so in the event of a nuclear reactor depressurization, they are released into the environment in a “volley”, which stops very quickly after the fission reaction stops. Subsequently, they fall out of the atmosphere onto the surface of soil and vegetation, where their activity decreases due to short half-lives in accordance with the law of radioactive decay. Subsequently, they fall out of the atmosphere onto the surface of soil and vegetation, where their activity decreases due to short half-lives in accordance with the law of radioactive decay. Radioactive isotopes of iodine, in particular ^{131}I , are considered to be the main radiation threats to human health due to the high risk of exposure of the population as a result of accidents at nuclear power facilities. At the same time, Ukraine is a region with an unfavorable medical and social situation associated with a naturally occurring iodine deficiency in the biosphere. Therefore, the relevance of the study is due to the need to determine the levels of effective radiation dose for the population living in conditions of iodine deficiency and at the same time exposed to chronic exposure to radioiodine emissions from NPPs.

Based on the results of radioecological studies and modeling, it was found that ^{131}I contributes up to 63% and 29% to the average effective dose from inhalation and oral intake of radionuclides to the human body, respectively. The volumetric activity of ^{131}I in the air and effective doses from ^{131}I were determined as functions of the meteorological dilution factor calculated for 16 wind directions. The effective dose from ^{131}I ingestion to humans for the territories with a radius of 2500 m around the PANPP is from 10 to 40 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. The average individual effective dose from ingestion of a mixture of radionuclides, including ^{131}I , is 2 to 9 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. For the territories located within the 30 km zone around the PANPP, the average individual dose is reduced to units of $\text{n}10^{-6}$ Sv, and for the territories outside this zone - to $\text{n}10^{-8}$ Sv. *Key words:* NPP gas and aerosol emissions, ^{131}I , meteorological dilution factor, effective dose.

Постановка проблеми. При нормальній роботі АЕС технологічний потік радіонуклідів надходить у довкілля з вентиляційних труб блоків і з водоскидних каналів. Основна маса викидної активності приходить на радіоактивні благородні гази та ^{131}I : потужність викиду їх у 10^5 разів перевищує потужність викиду довгоживучих аерозолів. Радіоактивні ізотопи йоду є леткими, тому у випадку розгерметизації ядерного реактора відбувається «залповий» викид їх у довкілля, який припиняється дуже швидко

після припинення реакції поділу. Надалі вони випадають з атмосфери на поверхню ґрунту та рослинності, де їхня активність, завдяки коротким періодам напіврозпаду, зменшується фактично відповідно до закону радіоактивного розпаду. Радіоактивні ізотопи йоду, зокрема ^{131}I , відносять до основних радіаційних загроз для здоров'я людини через високий ризик опромінення населення внаслідок аварійних ситуацій на об'єктах ядерно-енергетичного комплексу. Разом з цим Україна є регіоном, в якому склалась

несприятлива медико-соціальна ситуація, пов'язана природно зумовленим дефіцитом йоду в біосфері. Дві третини території України належать до регіонів природного йододефіциту. Більшість українців проживають у місцях, де відчувається нестача йоду в ґрунті, воді, місцевих продуктах харчування. Замість належних за нормами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) 150 мікрограмів (мкг) йоду на день переважна більшість населення отримує з їжею та водою лише 40-50 мкг йоду на добу, а споживання менш ніж 80 мкг вважається абсолютно недостатнім.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю визначення рівнів ефективної дози опромінення для населення, яке мешкає в умовах йододефіциту та одночасно підвержене хронічному впливу викидів радіоїоду з АЕС.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження сприяє розробці нових методів контролю за дозовим навантаженням на населення з прилеглих до АЕС територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах ризику розвитку йододефіцитних захворювань живе майже 70% населення України і, при цьому, практично у всіх без винятку регіонах. Південь і Схід України традиційно відносили до регіонів з низьким рівнем ендемії [5, 6], але окремі дослідження в останні десятиріччя свідчили про наявність тенденції до зростання поширеності дифузного нетоксичного зобу серед дорослого і дитячого населення цих територій [4]. Дослідження Інституту ендокринології та обміну речовин АМН України, хоча і не були масштабними, але дали підстави до засвідчення середнього ступенів йододефіциту в окремих місцевостях цих промислових регіонів [5]. Проблематичність цього питання для південних і східних регіонів країни пов'язана з тим, що до загальновідомих причин виникнення йододефіциту (нестача йоду у ґрунті, воді, рослинах, продуктах харчування) додається причина, яка пов'язана зі значним техногенним навантаженням і забрудненістю довкілля токсичними речовинами. Це може призводити як до безпосереднього порушення засвоєння щитовидною залозою йоду, так і внаслідок зв'язування йоду у недоступну для кореневої системи рослин сполуку – до зменшення його вмісту у м'ясо-молочній продукції [6].

Також відомо, що при аварії на АЕС, можливе опромінення внаслідок проходження радіоактивної хмари і інгаляційного надходження радіоактивних аерозолів та газів безпосередньо з радіоактивної хмари. Є результати досліджень щодо викиди радіоїоду відносяться до раннього радіоактивного викиду, тобто радіоактивного викиду, який вимагає впровадження заходів щодо захисту населення за межами майданчика АЕС, але не має достатньо часу для їх виконання» [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недостатньо вивченими залишаються питання формування дозового навантаження на населення з прилеглих до АЕС територій. Так, зокрема, не вивченою є тема дозового навантаження на населення від радіоактивного йоду (^{131}I) при хронічному його надходженні через радіоактивні викиди АЕС в умовах нормальної експлуатації.

Новизна. Із залученням даних наукової літератури представлено оцінки ефективної дози опромінення людини від газоаерозольних викидів ^{131}I з АЕС. Змодельовано зміни дозового навантаження від ^{131}I з відстанню від АЕС.

Методологічне або загальнонаукове значення. Використано результати гамма-спектрометричних і радіохімічних досліджень проб ґрунту, продуктів харчування, виконаних раніше авторами [5]. Використано дані ЛЗД ПАЕС щодо річних об'ємів газоаерозольних викидів АЕС [7] та дані [8], застосовано методику МАГАТЕ з оцінки розсіювання домішок у повітрі на основі гаусової моделі розповсюдження домішок в атмосферному повітрі. При визначенні дифузійних властивостей повітряного середовища району ПУ АЕС використані дані багаторічних спостережень метеостанції м. Вознесенська та метеостанції ПУ АЕС. Оцінка випадіння радіонуклідів здійснена за розою вітрів для відстані (2500 м), на якій розташований найближчий до АЕС населений пункт. Визначення ефективної дози опромінення людини здійснено за моделями МКРЗ [1, 2].

Викладення основного матеріалу. Аналіз структури газоаерозольних викидів ПАЕС, проведений за даними [7, 8] свідчили, що у загальному радіонуклідному складі газоаерозольних викидів АЕС (не враховуючи викидів тритію) викиди ^{131}I складають до 49% (рис. 1).

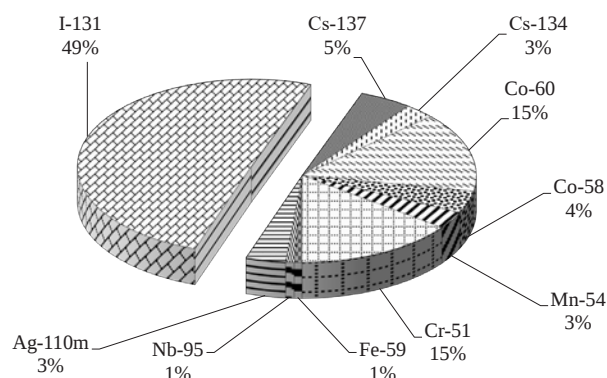


Рис. 1. ^{131}I у радіонуклідному складі газоаерозольних викидів ПАЕС

Середньорічні значення викидів ^{131}I у повітря знаходилися в межах 78 - 400 Бк/с, при середньому значенні 286 ± 46 Бк/с. Середня величина фактору метеорологіч-

ного розбавлення для територій на відстані 2500 м (найближчий населений пункт) при середньорічній швидкості вітру $v=3.5$ м/с склала $(0,61 \pm 0,16) \cdot 10^{-7}$ с/м³, що повністю підтверджує отримані раніше нами значення $(0,59 \pm 0,26) \cdot 10^{-7}$ с/м³ [5]. Об'ємна активність ^{131}I у приземному шарі території радіусом 2500 м навколо ПАЕС склала величини з діапазону $(7 - 470) \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. Як видно, для ^{131}I отримано діапазон значень, нижні і верхні границі якого відрізняються на два порядки. Це, на нашу думку, пояснюється сприятливими для цих місць метеорологічними умовами та суттєвою змінами об'ємів викидів з вентиляційної труби АЕ під час проведення ремонтних робіт обладнання блоків АЕС.

На основі цих даних розраховано значення середньої індивідуальної ефективної дози при інгаляційному надходженні суміші радіонуклідів до людини, які змінювалися в діапазоні $(10 - 250) \cdot 10^{-12}$ Зв/рік. Структуру цієї дози за внесками радіонуклідів наведено на рис. 2: ^{131}I – 63%, ^{60}Co – 17%, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ – 7%, ^{137}Cs – 6%, ^{134}Cs – 5%, ^3H – 1%, на усі інші – в цілому 1%.

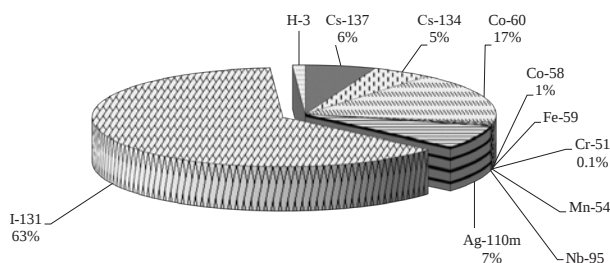


Рис. 2. Структура середньої індивідуальної ефективної дози від інгаляційного надходження суміші радіонуклідів

Визначення дози зовнішнього опромінення людини в результаті осадження радіоїоду на поверхні ґрунту здійснено для трьох варіантів: при максимальному ($13,5 \cdot 10^{12}$ Бк/рік), середньому ($2,96 \cdot 10^{12}$ Бк/рік) та мінімальному ($0,2 \cdot 10^{12}$ Бк/рік) значенні викиду ^{131}I з ПАЕС та при коефіцієнті осадження йоду $2 \cdot 10^{-2}$. Розрахунки свідчили, що доза зовнішнього опромінення людини від радіоїоду становила: за максимальним значенням 5,7 мкЗв/рік, мінімальним – 0,1 мкЗв/рік, середнім – 1,0 мкЗв/рік. Величина фактору осадження радіоїоду на поверхні ґрунту знаходився в діапазоні $4,8 - 18,0 \cdot 10^{-10}$ с/м².

Для розрахунку величини ефективної дози внутрішнього опромінення людини від радіонуклідів, що потрапляють до людини за міграційним ланцюгом “газоаерозольні викиди АЕС – атмосферне повітря – ґрунт (листя рослин) – сільськогосподарські рослини, молоко, м’ясо – людина”, визначення їх вмісту у продукції сільськогосподарського виробництва здійснено за середньорічними даними газоаерозольних викидів ПАЕС за 1984 – 2017 рр. [8], гаусовою моделлю розповсюдження домішок у повітрі та використовуючи відому модель перенесення радіонуклідів у рослини

через кореневий і стебловий шляхи в результаті осідання викидних домішок на поверхні ґрунту і рослинах. Визначена величина середньої індивідуальної ефективної дози від надходження до людини харчовим шляхом суміші радіонуклідів (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^3H), яка склала $6,9 \pm 1,6$ мкЗв/рік при розкиді від 2 до 9 мкЗв/рік. Структуру цієї дози наведено на рис. 3.

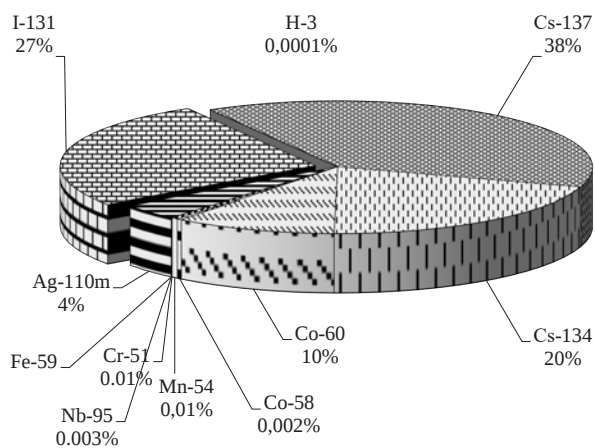


Рис. 3. Структура середньої індивідуальної ефективної дози від перорального надходження радіонуклідів

З рисунку 3 видно, що основний внесок у формування цієї дози, крім ^{131}I (29%), надавали ^{137}Cs , ^{134}Cs (60%). Розрахунки свідчили, що ефективна доза від перорального надходження ^{131}I до людини для територій радіусом 2500 м навколо ПАЕС становить від 10 до 40 мкЗв/рік.

Через те, що об'ємна активність ^{131}I у повітрі, а також ефективна доза опромінення людини від інгаляційного і перорального надходження ^{131}I є функціями фактору метеорологічного розбавлення, неважко визначити ці величини доз для територій, розташованих на інших відстанях від АЕС. На рис. 4 відображено результати розрахунку величини середньої індивідуальної ефективної дози ^{131}I для населення, що мешкає на іншій відстані від ПАЕС.

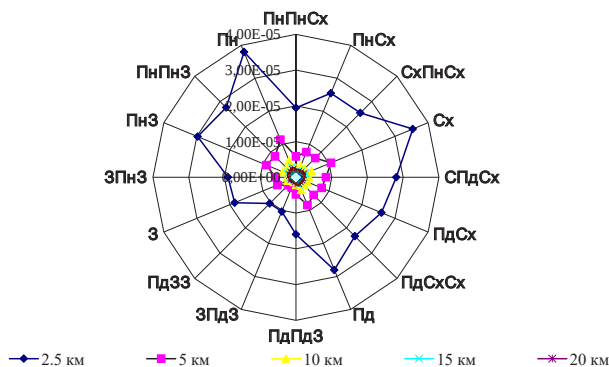


Рис. 4. Кругова діаграма ефективної дози від ^{131}I для територій, які віддалені від ПАЕС на відстань від 2,5 км до 150 км (для 16 румбів напрямку вітру)

Як видно з рис. 4, для територій, розташованих у 30^и км зоні навколо ПАЕС, величина середньої індивідуальної дози знижується до одиниць $n \cdot 10^{-6}$ Зв, а для територій поза цієї зоною – до $n \cdot 10^{-8}$ Зв.

Головні висновки

1. ^{131}I складає до 49% у радіонуклідному складі газоаерозольних викидів.

2. Об'ємна активність ^{131}I у приземному шарі території радіусом 2500 м навколо ПАЕС склала величини з діапазону $(7 - 470) \cdot 10^{-7}$ Бк/м³.

3. ^{131}I складає до 63% і 29% внеску у середню ефективну дозу від інгаляційного та від перорального надходження радіонуклідів відповідно.

4. Ефективна доза від перорального надходження ^{131}I до людини для територій радіусом 2500 м навколо ПАЕС становить від 10 до 40 мкЗв/рік.

5. Середня індивідуальна ефективна доза від надходження до людини харчовим шляхом суміші радіонуклідів (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^3H) складає $6,9 \pm 1,6$ мкЗв/рік при розкиді від 2 до 9 мкЗв/рік.

6. Для територій, розташованих у 30^и км зоні навколо ПАЕС, величина середньої індивідуальної дози знижується до одиниць $n \cdot 10^{-6}$ Зв, а для територій поза цієї зоною – до $n \cdot 10^{-8}$ Зв.

Перспективи подальших досліджень.

Проведення досліджень з визначення рівнів вмісту стабільного йоду в ґрунті та в рослинах, щоб оцінити надходження стабільного йоду до людини через їжу та питну воду для територій, яка підлягає впливу газоаерозольних викидів Південноукраїнської АЕС на предмет розповсюдженості і рівня йододефіциту з розробленням відповідних контрзаходів.

Література

1. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. – Oxford: Pergamon Press, 1994. – 482 p.
2. ICRP Publication 67. Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients. – Oxford: Pergamon Press, 1993. – 166 p.
3. Богорад В. І., Слєпченко О. Ю., Литвинська Т. В., Бєлих Д. О., Калита І. А., Полудненко В. А. Радіаційні аспекти захисту населення на етапі раннього викиду в разі важкої аварії на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 3 (87). 2020. С. 62 – 73.
4. Ганжа О. Б., Рябченко Н. М., Липська А. І., Родіонова Н. К., Талько В. В. Гематологічні та цитогенетичні ефекти у потомків лабораторних щурів, опромінених інкорпорованим ^{131}I . *Ядерна фізика та енергетика*. 20 (2019). С. 178 -186.
5. Григор'єва Л.І. Дозове навантаження від ^{131}I газоаерозольних викидів АЕС у світі проблеми йодного дефіциту населення півдня України. *Техногенна безпека*. 2016, Т. 187, №175 (2012). С. 47-53.
6. Дрозд І.П., Сова О. А., Липська А.І. Моделювання аварійного викиду ^{131}I . Процеси дозоутворення. *Ядерна фізика та енергетика*. 2015. Т. 16. № 2. С. 157 – 163.
7. Радіаційна обстановка в районі розташування ЮУАЕС за 2014–2018 рр. : звіти лабораторії зовнішньої дозиметрії ЮУАЕС. 2019. 124 с.
8. Южно-Українська АЕС. Енергоблок №3 : звіт з періодичної переоцінки безпеки. Фактор безпеки №14. Вплив на навколишнє середовище. Київ. 2019. 158 с.