

УДК 502.175:502.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-12>

Людмила ГРИГОР'ЄВА

завідувачка кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

ORCID: 0000-0001-9452-2982

Scopus Author ID: 49963633100

Костянтин ГРИГОР'ЄВ

аспірант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

ORCID: 0000-0003-2804-2758

Scopus Author ID: 49963356000

Бібліографічний опис статті: Григор'єва, Л., Григор'єв, К. (2025). Методологія використання дозових цін при експрес-оцінюванні та моделюванні ефективної дози від газоаерозольних викидів радіонуклідних полютантів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 98–104, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-12>

**МЕТОДОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ДОЗОВИХ ЦІН
ПРИ ЕКСПРЕС ОЦІНЮВАННІ ТА МОДЕЛЮВАННІ ЕФЕКТИВНОЇ ДОЗИ
ВІД ГАЗОАЕРОЗОЛЬНИХ ВИКИДІВ РАДІОНУКЛІДНИХ ПОЛЮТАНТІВ**

Стаття присвячена висвітленню розробленої методології використання дозових цін при радіоекологічному моделюванні ситуації. Використовуючи результати радіоекологічних досліджень авторів застосовано метод, заснований на визначенні нормалізованих показників ефективних доз, які дозволятимуть оперативно визначити ефективну дозу опромінення людини від техногенних джерел іонізуючого випромінювання, в першу чергу пов'язаних з газоаерозольними викидами АЕС.

Для визначення нормалізованих ефективних доз від газоаерозольних викидів встановлювали показники, які виступали базовими радіаційними характеристиками цих джерел. Використано поняття «дозова ціна» (*dose price*) джерела іонізуючого випромінювання – показник, який за своїм змістом відображує річну ефективну дозу опромінення від радіонукліду, приведену до одиниці впливу джерела. При надходженні у довкілля суміші радіонуклідів встановлювали базовий (реперний) радіонуклід BR (або декілька) – який мав більшу вагомість у величині сумарної дози і в об'ємі газоаерозольного викиду, та визначали ефективну дозову ціну.

Ця методологія застосована до представленої камерної моделі перенесення радіонуклідів, які було викинуто у довкілля з газоаерозольними викидами Південноукраїнської АЕС. Показано, що річна ефективна доза опромінення людини від радіонуклідів газоаерозольних викидів АЕС представляє собою суму річних ефективних доз: ефективної дози зовнішнього опромінення людини від хмари викидів і від радіонуклідів, що випали на землю, та ефективної дози внутрішнього опромінення людини через інгаляційне надходження радіонуклідів.

Апробація методики здійснена на підставі встановленого авторами раніше факту, що головний внесок (63 %) у формування радіаційного навантаження на людину від інгаляційного надходження суміші радіонуклідів газоаерозольних викидів приходилося на ^{131}I . Тому реперним радіонуклідом було обрано ^{131}I . Базовою радіаційною характеристикою прийнято величину потужності викиду радіонукліду. Розрахунки, які проведено за цією методикою для території на відстані 2,5 км від АЕС, показали, що величина ефективної дозової ціни від газоаерозольного викиду суміші радіонуклідів склала величини на рівні 0,01–1,05 мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I . Важливою умовою прогнозування за допомогою дозиметричних моделей є їхня надійність. У роботі застосовано методику статистичного експерименту і стохастичного моделювання Монте-Карло для оцінювання надійності методики. Результати свідчили, що у моделі деякі фактори є істотними. Це обумовлено тим, що головний внесок в інгаляційну дозу від газоаерозольних викидів радіонуклідів здійснюють, крім ^{131}I , також ^{60}Co та ^{137}Cs .

Стохастичне прогнозування ефективної дози від газоаерозольних викидів АЕС з використанням визначених дозових цін підтвердило надійність представленої моделі при оперативному прогнозуванні дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС.

Ключові слова: методологія, газоаерозольні викиди радіонуклідів, модель, дозова ціна, атмосферне повітря.

Liudmyla GRYGORIEVA

Head of the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 10 68 Desantnykiv str., Mykolaiv, Ukraine, 54003

ORCID: 0000-0001-9452-2982

Scopus Author ID: 49963633100

Kostiantyn GRYGORIEV

Postgraduate Student at the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 10 68 Desantnykiv str., Mykolaiv, Ukraine, 54003

ORCID: 0000-0003-2804-2758

Scopus Author ID: 49963356000

Бібліографічний опис статті: Grygorieva, L., Grygoriev, K. (2025). Metodolohiia vykorystannia dozovykh tsin pry ekspres otsiniuvanni ta modeliuvanni efektyvnoi dozy vid hazoerozolnykh vykydiv radionuklidnykh poliutantiv [Methodology for using dose prices in rapid assessment and modelling of effective doses from gas-aerosol emissions of radionuclide pollutants]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 98–104, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2025-4-12>

METHODOLOGY FOR USING DOSAGE PRICES IN EXPRESS ASSESSMENT AND MODELLING OF EFFECTIVE DOSES FROM GASEOUS AEROSOL EMISSIONS OF RADIONUCLIDES

The article is devoted to highlighting the developed methodology for using dose prices in radioecological modelling of situations. Using the results of radioecological studies, the authors applied a method based on determining normalised effective dose indicators, which will allow for the rapid determination of the effective dose of human exposure to man-made sources of ionising radiation, primarily associated with gas-aerosol emissions from nuclear power plants.

To determine the normalised effective doses from gas-aerosol emissions, indicators were established that served as the basic radiation characteristics of these sources. The concept of the 'dose price' of an ionising radiation source was used – an indicator that reflects the annual effective dose of radiation from a radionuclide, reduced to a unit of source impact. When a mixture of radionuclides entered the environment, a base (reference) radionuclide BR (or several) was established, which had greater weight in the total dose and in the volume of gas-aerosol emissions, and the effective dose price was determined.

This methodology was applied to the presented chamber model of radionuclide transport, which was released into the environment with gas-aerosol emissions from the South Ukraine NPP.

It has been shown that the annual effective dose of human exposure to radionuclides from gas-aerosol emissions from nuclear power plants is the sum of the annual effective doses: the effective dose of external exposure of humans from the emission cloud and from radionuclides that have fallen to the ground, and the effective dose of internal exposure of humans through inhalation of radionuclides.

The methodology was tested based on the fact established earlier by the authors that the main contribution (63 %) to the radiation exposure of humans from the inhalation of a mixture of radionuclides from gas-aerosol emissions was made by ^{131}I . Therefore, ^{131}I was chosen as the reference radionuclide. The basic radiation characteristic is taken to be the power of radionuclide emission. Calculations performed using this methodology for the territory at a distance of 2.5 km from the NPP showed that the effective dose rate from the gas-aerosol emission of the radionuclide mixture ranged from 0.01 to 1.05 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ per 1 Bq/s of ^{131}I emission. An important condition for forecasting using dosimetric models is their reliability. The paper applies the methodology of statistical experiment and Monte Carlo stochastic modelling to assess the reliability of the methodology. The results showed that some factors are significant in the model. This is due to the fact that, in addition to ^{131}I , ^{60}Co and ^{137}Cs also make a significant contribution to the inhalation dose from gas-aerosol emissions of radionuclides. Stochastic forecasting of the effective dose from gas-aerosol emissions of nuclear power plants using defined dose values confirmed the reliability of the presented model in the operational forecasting of the dose load on the population from gas-aerosol emissions of nuclear power plants.

Keywords: methodology, gas-aerosol emissions of radionuclides, model, dose price, atmospheric air.

Актуальність проблеми. Прогнозування радіаційного стану на території в зоні впливу газоаерозольних викидів АЕС було актуально до воєнних дій (Богорад, 2020, Новосолов,

2019), а особливо актуалізувалося під час воєнних дій на території нашої держави (Ангу-рець, 2023, Литвиненко, 2023). Це пов'язано з підвищенням ризиків радіоекологічних

аварій, загрози зміни радіаційної ситуації, потрапляння радіонуклідів в атмосферне повітря внаслідок постійних обстрілів з боку РФ ракетами та безпілотниками територій поблизу АЕС (Ангурець, 2023, с. 45).

Одним з методів, які дозволяють оперативно прогнозувати радіаційну ситуацію і радіаційне навантаження на людину, є метод, заснований на визначенні коефіцієнтів переходу від радіаційних характеристик джерела іонізуючого випромінювання – до ефективної дози опромінення людини (Кустов, 2019, Сидоренко, 2020). Для оперативної орієнтації у рівнях радіаційного навантаження на населення в якості таких коефіцієнтів використовують нормалізовані показники ефективної дози – ефективні дози, віднесені до щільності випадіння радіонуклідів (в одиницях Зв/(Бк/м²)).

Тому одне з завдань роботи полягало у встановленні коефіцієнтів (нормалізованих показників ефективних доз), які дозволятимуть оперативно визначати ефективну дозу опромінення людини від техногенних джерел іонізуючого випромінювання, в першу чергу пов'язаних з газоаерозольними викидами АЕС.

Мета дослідження: представити методику визначення нормалізованих показників ефективної дози для експрес оцінювання ефективної дози опромінення людини від газоаерозольних викидів радіонуклідних полютантів.

Матеріали і методи дослідження. Для визначення нормалізованих ефективних доз від газоаерозольних викидів встановлювали показники, які виступали базовими радіаційними характеристиками цих джерел. Визначення нормалізованих ефективних доз опромінення людини здійснювали за формулою:

$$d_pr_{i,n} = \bar{H}_{i,n} = \frac{H_{i,n}}{BRD_{i,n}}, \quad (1)$$

де $d_pr_{i,n}$ – дозова ціна (dose price) джерела n іонізуючого випромінювання за радіонуклідом i , (Зв/рік)/(Бк/м³), залежно від $BRD_{i,n}$; $H_{i,n}$ – річна ефективна доза від радіонукліду i від джерела випромінювання n , Зв/рік; $BRD_{i,n}$ – базова радіаційна характеристика джерела n іонізуючого випромінювання, визначена за радіонуклідом i , Бк/м³.

$BRD_{i,n}$ – це показник, який характеризує радіонуклідне забруднення об'єкта довкілля, що стоїть на початку дозоформуєчого ланцюга та

враховує інші чинники, які модифікують вплив радіонуклідного забруднення цього об'єкта на людину.

Через те, що показник $d_pr_{i,n}$ за своїм змістом відображує річну ефективну дозу опромінення від радіонукліду i , приведену до одиниці впливу джерела n , то його названо «дозовою ціною джерела n за радіонуклідом i ». Аналогічне поняття «дозова ціна аварійного забруднення» застосовано в роботі [29] для оцінки радіаційного навантаження за усіма шляхами надходження «аварійно-чорнобильських» радіонуклідів до людини. При надходженні у довкілля суміші радіонуклідів встановлювали базовий (реперний) радіонуклід BR (або декілька) – який мав більшу вагомість у величині сумарної дози і в об'ємі газоаерозольного викиду, та визначали ефективну дозову ціну ($d_pr_n^*$) джерела n , як зважену суму відповідних дозових цін за окремими радіонуклідами:

$$d_pr_n^* = d_pr_{BR,n} + \sum_{i \neq BR} \left(d_pr_{i,n} \times \frac{BRD_{i,n}}{BRD_{BR,n}} \right), \quad (2)$$

де $d_pr_{BR,n}$ – дозова ціна джерела n за радіонуклідом BR ; $BRD_{BR,n}$ – базова радіаційна характеристика, яка визначена за радіонуклідом BR .

Такий підхід дозволяє прогнозувати ефективну дозу опромінення людини від суміші радіонуклідів за активністю одного радіонукліду:

$$H_n^{inhal} = d_pr_{BR,n}^* \times BRD_{BR,n}, \quad (3)$$

де H_n^{inhal} – річна ефективна доза внутрішнього опромінення людини від суміші радіонуклідів з джерела n , Зв/рік.

Важливою умовою прогнозування за допомогою дозиметричних моделей є їхня надійність. У роботі застосовано методику статистичного експерименту і стохастичного моделювання Монте-Карло, за якою параметри перенесення радіонуклідів і співвідношення $\frac{BRD_{i,n}}{BRD_{BR,n}}$ рандомізувалися шляхом дослідження величин їх статистичних характеристик, і для кожного випадкового набору параметрів моделювалися дози, а результати обробляли як статистичний матеріал.

Основний матеріал дослідження. На рисунку 1 представимо камерну модель перенесення радіонуклідних полютантів, за якою

ми оцінювали шляхи формування ефективної дози опромінення людини від радіонуклідів, що надходять у довкілля з газоаерозольними викидами АЕС. Жирним шрифтом виділено камеру – викид радіонукліду i з АЕС, радіаційні характеристики якої (потужність викиду $Q_{i,extr}$, Бк/с) прийнято за базову радіаційну характеристику BRD .

Окрім ефективної дози зовнішнього опромінення людини від хмари викидів (H_{extr}^{ext}) і зовнішнього опромінення від радіонуклідів, що випали на землю, формується доза внутрішнього опромінення людини через інгаляційне (H_{extr}^{inhal}) надходження радіонуклідів. Тому при визначенні дозової ціни газоаерозольних викидів АЕС потрібно враховувати ці шляхи формування ефективної дози опромінення людини внаслідок газоаерозольних викидів радіоактивних речовин. Тобто, сумарна річна ефективна доза опромінення людини від їхніх радіонуклідів в результаті газоаерозольних викидів АЕС (H_{extr}) представляє собою суму річних ефективних доз:

$$H_{extr} = H_{extr}^{ext} + H_{extr}^{inhal}.$$

Нами раніше (Григор'єва, 2025, с. 39) визначено, що головний внесок (63 %) у формування радіаційного навантаження на людину від

інгаляційного надходження суміші радіонуклідів газоаерозольних викидів (H_{extr}^{inhal}) приходилося на ^{131}I . Тому реперним радіонуклідом було обрано ^{131}I .

Базовою радіаційною характеристикою прийнято величину потужності викиду радіонукліду i : $BRD_{i,extr} = Q_{i,extr}$ (Бк/с). Потрібно врахувати також модифікуючі фактори: фактор метеорологічного розбавлення домішок у приземному шарі атмосфери і відстань від АЕС. Нами визначалися «дозові ціни» газоаерозольних викидів АЕС для території радіусом 2,5 км від ПУ АЕС, тому можна обмежитися нормалізацією лише за $Q_{i,extr}$, і за (1) вираз для визначення дозових цін газоаерозольних викидів АЕС має вигляд:

$$d_{pr_i} = \bar{H}_{i,extr} = \frac{H_{i,extr}}{BRD_{i,extr}} = \frac{H_{i,extr}}{Q_{i,extr}}.$$

Отримаємо ефективні дозові ціни газоаерозольних викидів АЕС відповідно за інгаляційним шляхом та при зовнішньому опроміненні:

$$d_{pr_{extr}^{*inhal}} = d_{pr_{BR,extr}^{inhal}} + \sum_{i \neq BR} \left(d_{pr_{i,extr}} \times \frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}} \right);$$

$$d_{pr_{extr}^{*ext}} = d_{pr_{BR,extr}^{ext}} + \sum_{i \neq BR} \left(d_{pr_{i,extr}} \times \frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}} \right).$$

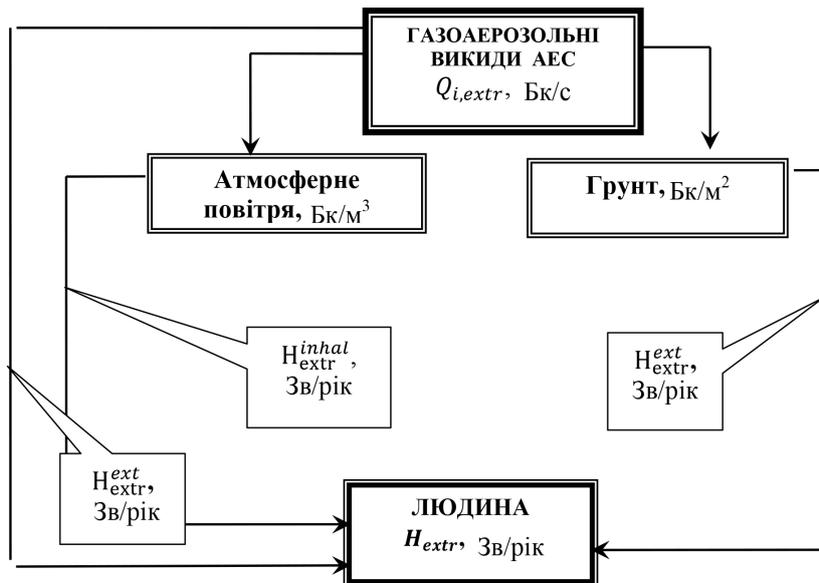


Рис. 1. Камерна модель формування радіаційного навантаження на людину від радіонуклідів, які надходять у довкілля з газоаерозольними викидами АЕС. Позначення: H_{extr} – річна ефективна доза опромінення людини внаслідок газоаерозольних викидів радіонуклідів; H_{extr}^{ext} – річна ефективна доза зовнішнього опромінення людини; H_{extr}^{inhal} – річна ефективна доза внутрішнього опромінення людини при інгаляційному надходженні радіонуклідів

де $Q_{BR,extr}$ – потужність викиду базового радіонукліду в атмосферне повітря, Бк/с.

Обчислення, які проведені відносно базового радіонукліду ^{131}I для території на відстані 2,5 км від АЕС показали:

- величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^{*ext}}$ на рівні 0,01–0,5 мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I ,
- величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^{*inhal}}$ на рівні (0,07–1,05) мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I .

– величини ефективної дозової ціни $d_{pr_{extr}^{*ext}}$ на рівні (0,01–1,05) мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I .

Таким чином, отримаємо модель для прогнозування радіаційного навантаження на людину через газоаерозольні викиди радіонуклідів з АЕС:

$$H_{extr} = d_{pr_{extr}^{*ext}} \cdot Q_{^{131}\text{I},extr}, \quad (4)$$

де $Q_{^{131}\text{I},extr}$ – потужність викиду ^{131}I , Бк/с.

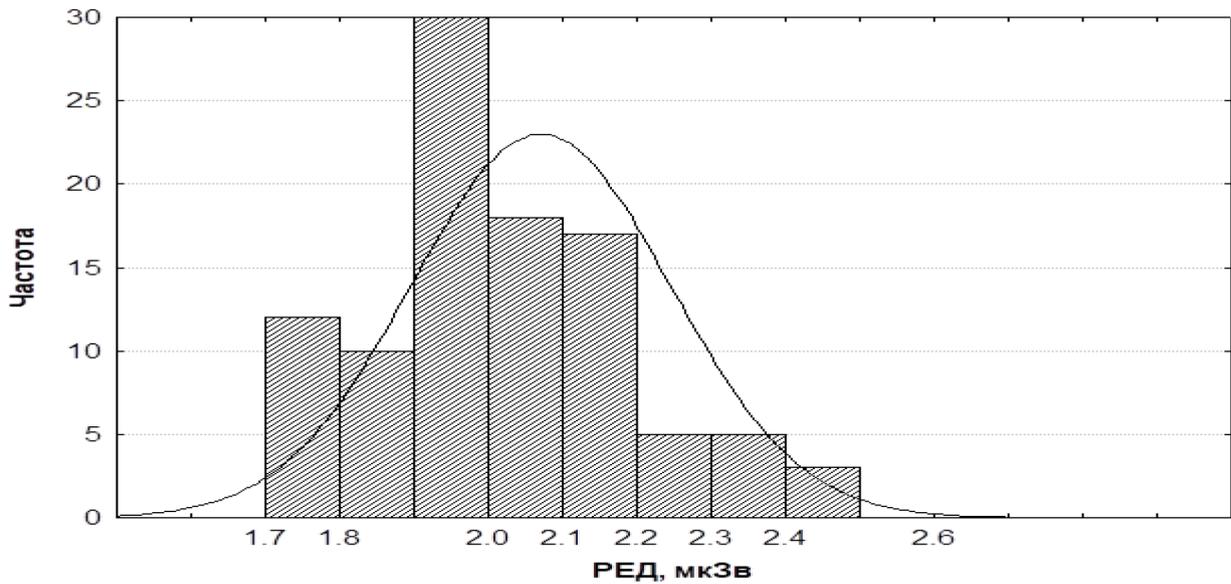


Рис. 2. Гістограма розподілу результатів моделювання формування річної ефективної дози H_{extr} у районі ПУ АЕС (2,5 км від АЕС) внаслідок газоаерозольних викидів АЕС

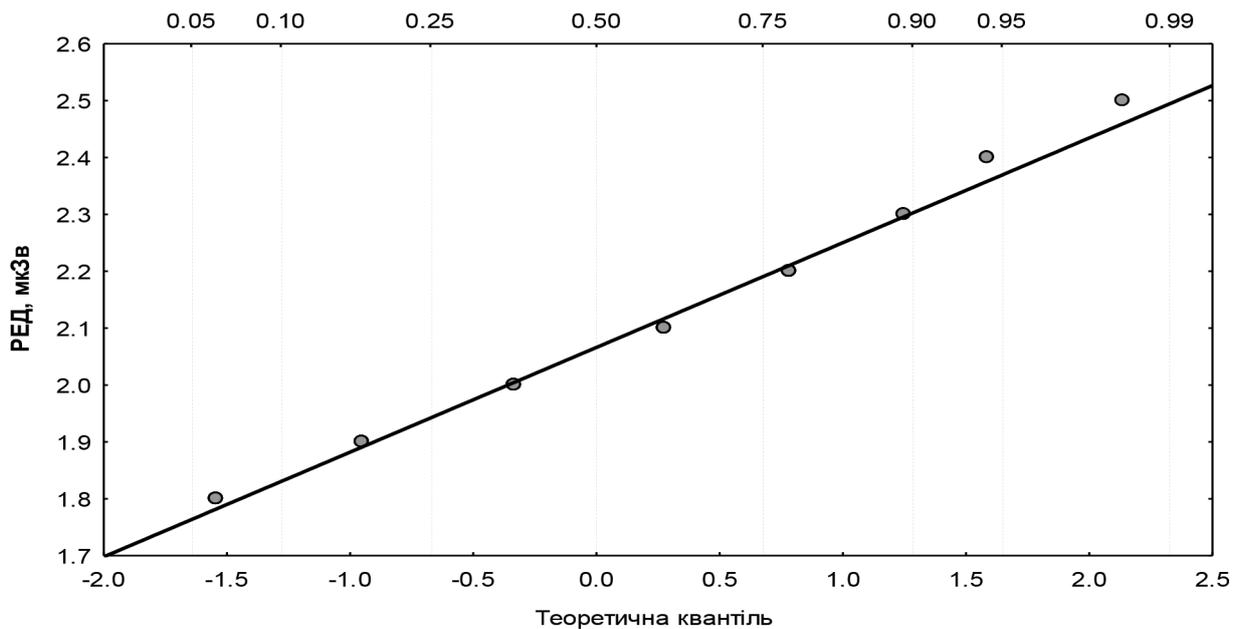


Рис. 3. Пробіт-графік розподілу результатів моделювання формування річної ефективної дози H_{extr} від газоаерозольних викидів радіонуклідів у районі ПУ АЕС (2,5 км від АЕС)

Перевіримо надійність стохастичного прогнозування ефективної дози H_{extr} від газоаерозольних викидів радіонуклідів у районі ПУ АЕС (2,5 км від АЕС. При такому моделюванні невизначеністю характеризуються змінні величини $\frac{Q_{i,extr}}{Q_{BR,extr}}$, $Q_{^{131}I,extr}$. Границі змін цих змінних взято як мінімальні і максимальні значення, визначені за результатами проведених досліджень і даних [7, 9] за період 2019–2021 рр.

Здійснюючи 100 випробувань моделі (4) при параметрах, значення яких випадковим чином вибиралися з їхніх інтервалів змін, отримаємо результати, які у вигляді гістограми наведено на рис. 2, а у вигляді пробіт-графіку – на рис. 3.

Пробіт-графік і гістограма показують, що змодельований розподіл може істотно відрізнятися від нормального. Це може свідчити про те, що у моделі деякі фактори є істотними. У даному випадку це очевидно: головний внесок в інгаляційну дозу від газоаерозольних викидів радіонуклідів здійснюють, крім ^{131}I , ^{60}Co та ^{137}Cs (Богорад, 2019, Григор'єва, 2025), тому рівномірний закон розподілу цих радіонуклідів практично відображується у закон розподілу дози.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Представлено результати моделювання формування ефективної дози опромінення людини від газоаерозольних викидів АЕС, використовуючи методологію нормалізованих дозових цін джерела випромінювання та камерних моделей.

Показано, що для оперативного прогнозування рівнів середньоіндивідуальної ефективної дози може виступати показник дозової ціни газоаерозольних викидів радіонуклідів. При цьому базовим/реперним радіонуклідом виступає ^{131}I , а базовою радіаційною характеристикою – потужність викиду ^{131}I .

Для умов територій навколо ПУАЕС (2,5 км) розраховано, величини ефективної дозової ціни газоаерозольних викидів АЕС, які склали (0,01–1,05) мкЗв/рік на 1 Бк/с викиду ^{131}I .

Стохастичне прогнозування ефективної дози від газоаерозольних викидів АЕС з використанням визначених дозових цін підтвердило надійність представленної моделі при оперативному прогнозуванні дозового навантаження на населення від газоаерозольних викидів АЕС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ангурець О., Хазан П., Колесникова К., Куш М., Чернохова М., Гавранек М. Україна, шкода довкіллю, екологічні наслідки війни. 2023. 84 с.
2. Богорад В. І., Сlepченко О. Ю., Литвинська Т. В., Белих 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.
3. Григор'єва Л., Григор'єв К. Ефективна доза іонізуючого випромінювання від викидів ^{131}I з АЕС. *Екологічні науки*. 2025. № 3 (60). С. 37–41.
4. Кустов М., Слепужніков Е., Ліповой В, Хмирьов І., Дадашов І., Бускін О. Процедура реалізації методу штучного осадження радіоактивних речовин з атмосфери. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 3(83). С. 13–25.
5. Литвиненко А. С. Військово-технологічні та соціогуманітарні дослідження в Національній Академії наук України під час російсько-української війни. *Наука та наукознавство*. 2023. № 2 (120). С. 95–115.
6. Новосолов Г., Масько М. Про радіаційний вплив Запорізької та Южно-Української АЕС на навколишнє середовище. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2019. № 2 (14). С. 58–70.
7. Радіаційна обстановка в районі розташування ЮУАЕС за 2018–2021 рр. : звіти лабораторії зовнішньої дозиметрії ЮУАЕС. 2021. 124 с.
8. Сидоренко В. Л. Екологічна безпека Чорнобильської зони відчуження: техноприродні загрози від радіаційно небезпечних об'єктів і явищ. Дисертація на...д-ра техн. наук. 2020. 470 с.
9. Южно-Українська АЕС. Енергоблок № 3: звіт з періодичної переоцінки безпеки. Фактор безпеки № 14. Вплив на навколишнє середовище. Київ. 2019. 158 с

REFERENCES:

1. Anhurets, O., Khazan, P., Kolesnykova, K., Kushch, M., Chernokhova, M., & Havranek, M. (2023). *Ukraine, shkoda dovkilliu, ekolohichni naslidky viiny. [Ukraine, environmental damage, ecological consequences of war]*. 84 [in Ukrainian]
2. Bohorad, V. I., Slepchenko, O. Yu., Lytvynska, T. V., Bielykh, D. O., Kalyta, I. A., & Poludnenko, V. A. (2020). *Radiatsiini aspekty zakhystu naseleunia na etapi rannoho vykydu v razi vazhkoj avarii na AES [Radiation aspects of*

protecting the population during the early release phase in the event of a severe accident at a nuclear power plant]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka – Nuclear and radiation safety*, 3 (87). 62–73 [in Ukrainian]

3. Hryhorieva, L., & Hryhoriev, K. (2025). Efektyvna doza ionizuiuchoho vyprominiuvannia vid vykydiv ^{131}I z AES. [Effective dose of ionising radiation from ^{131}I emissions from nuclear power plants]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*, № 3 (60). 37–41 [in Ukrainian]

4. Kustov, M., Slepuzhnikov, E., Lipovoi, V., Khmyrov, I., Dadashov, I., Buskin, O. (2023). Protsedura realizatsii metodu shtuchnoho osadzhennia radioaktyvnykh rehovyn z atmosfery [Procedure for implementing the method of artificial precipitation of radioactive substances from the atmosphere.] *Yaderna ta radiatsiina bezpeka – Nuclear and radiation safety*. 3 (83). 13–25 [in Ukrainian]

5. Lytvynenko, A. S. (2023). Viiskovo-tekhnologichni ta sotsiohumanitarni doslidzhennia v Natsionalnii Akademii nauk Ukrainy pid chas rosiisko-ukrainskoi viiny [Military-technological and socio-humanitarian research at the National Academy of Sciences of Ukraine during the Russian-Ukrainian war] *Nauka ta naukoznavstvo – Science and science studies*. 2 (120). 95–115. [in Ukrainian]

6. Novosolov, H., & Masko, M. (2019). Pro radiatsiinyi vplyv Zaporizkoi ta Yuzhno-Ukrainskoi AES na navkolyshnie seredovyshe [On the radiation impact of the Zaporizhzhya and South Ukraine Nuclear Power Plants on the environment.] *Yaderna enerhetyka ta dokillia – Nuclear energy and the environment*. 2 (14). 58–70. [in Ukrainian]

7. Radiatsiina obstanovka v raioni roztashuvannia YuUAES za 2019–2021 rr. (2021) [Radiation situation in the area surrounding the South Ukraine Nuclear Power Plant in 2018–2021]. *Zvity laboratorii zovnishnoi dozimetrii YuUAES – Mykolaiv – Reports from the external dosimetry laboratory of the SU AEPS*. 124. [in Ukrainian]

8. Sydorenko, V. L. (2020). Ekolohichna bezpeka Chornobylskoi zony vidchuzhennia: tekhnopryrodny zahrozy vid radiatsiino nebezpechnykh ob'ektiv i yavysch [Environmental safety of the Chernobyl exclusion zone: technological and natural threats from radiation-hazardous objects and phenomena. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]. *Doctor's thesis*. Sumy : NAU. 2020. 470. [in Ukrainian]

9. Iuzhno-Ukrainska AES. Enerhoblok № 3 : zvit z periodychnoi pereotsinky bezpeky. Faktor bezpeky № 14. Vplyv na navko lyshnie seredovyshe. (2019) [South Ukraine Nuclear Power Plant. Power Unit No. 3: Periodic Safety Review Report. Safety Factor No. 14. Impact on the Environment.] Kyiv. 158 [in Ukrainian]

Стаття надійшла: 22.11.2025

Прийнято: 10.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025