

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ У ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ-ФІЗИКІВ

Ткаченко І.А., Мельник О.В., Краснобокий Ю.М.

м. Умань, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

igor.tkachenko@rambler.ru

Зважаючи на те, що останнім часом особливої значущості набуває політехнічно-прикладний аспект у формуванні професійних компетенцій майбутніх учителів фізики, додаткової уваги потребує вивчення окремих тем та розділів з курсу загальної фізики, що пов'язані з вивченням елементів атомної фізики, квантової механіки, фізики елементарних частинок, основ теоретичної астрофізики та інших. Виникнення природних і техногенних глобальних катастроф (Чорнобиль – 1986 р., події в Японії, весна 2011 року), є важливими мотиваційними чинниками, що змушують до формування у майбутніх учителів дисциплін природничо-математичного та технологічного профілів додаткових компетенцій, пов'язаних з їх підготовкою до громадської діяльності, до якої вони залучаються у якості керівників осередків цивільної оборони з питань захисту населення від впливу негативних факторів під час виникнення надзвичайних ситуацій у тій місцевості, де працює вчитель (наказ МОН України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду № 969 / 922 / 216 від 21.10.2010).

З метою забезпечення такої підготовки учителів фізики і астрономії на фізико-математичному факультеті Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини в рамках дисциплін «Цивільний захист», «Проблеми сучасної фізики», «Теоретична астрофізика» студентів навчають методиці визначення параметрів радіаційно-хімічного стану при виникненні надзвичайних ситуацій на об'єктах атомної і хімічної промисловості.

Методика полягає у проведенні низки послідовних розрахунків з виявлення радіаційного стану, за масштабної аварії (руйнуванні) ядерного реактора атомних електростанцій з метою отримання інформації про ступінь впливу її наслідків на життєдіяльність населення, вибору і обґрунтування оптимальних режимів його перебування на забрудненій радіоактивними речовинами території та проведенні захисних заходів [3,5].

У широкому розумінні до потенційно небезпечних об'єктів з ядерними компонентами відносять атомні електростанції (АЕС), підприємства ядерного паливного циклу, транспорту з ядерним паливом та опроміненими тепловиділяючими елементами (твелями), а також ядерні боєприпаси. Основу АЕС як радіаційно небезпечного об'єкту, складають ядерні реактори.

Ядерні реактори є потужними джерелами штучних радіоактивних ізотопів хімічних елементів. Характерними з них є: стронцій ( $Sr - 89$  та  $Sr - 90$ ), йод ( $I - 131$  та  $I - 133$ ), цезій ( $Cs - 134$  та  $Cs - 137$ ), а також плутоній ( $Pu - 239$ ).

Руйнування ядерного реактора на АЕС призводить до виникнення двох вражаючих факторів:

- радіоактивної хмари, яка формується шляхом викиду радіоактивних речовин (РР) у продовж тривалого часу;
- тривалого радіоактивного забруднення місцевості.

У зв'язку з цим, доза опромінення, що спричинена реактором, буде складатися із доз зовнішнього опромінення від радіоактивної хмари та забрудненої радіоактивними речовинами місцевості, а також дози внутрішнього опромінення, яка потрапила в організм людини через органи дихання.

Радіаційний стан може бути виявлений і оцінений двома способами:

- *методом прогнозу;*
- *за даними радіаційної розвідки [1].*

Здійснення радіаційної розвідки потребує достатньо значного часу, тому за оперативної необхідності виявлення радіаційного стану (РС) здійснюється шляхом прогнозування, що й вимагає володіння певною методикою.

Зони забруднення наносяться на карти та схеми у вигляді еліпсів для визначення найбільш імовірного напрямку вітру. При нестійкому вітрі вони можуть мати вигляд кола. При нанесенні на карту (схему) зон радіоактивного забруднення, спочатку наносять центр аварії АЕС, записують тип ядерного реактора. Потім від центру місця аварії проводять пряму лінію – вісь сліду, що відповідає напрямові руху радіоактивної хмари.

Наводимо приклад методики оцінки радіаційної ситуації при аваріях на АЕС за даними прогнозу.

Нехай необхідно визначити поверхневу активність радіоактивних речовин (щільність забруднення місцевості) на сліді хмари ( $A_s$ ),  $Ku/m^2$ , та дози опромінення  $D$  (рад), яку отримає особовий склад формувань цивільного захисту (ЦЗ) за  $t_p$  – час, що необхідний для проведення організаційно-захисних робіт на забрудненій території.

Вихідні дані:

**Інформація про АЕС:**

- тип ядерного енергетичного реактора (ЯЕР);
- електрична потужність ЯЕР: 1000 МВт;
- кількість аварійних ЯЕР:  $n = 1$ ;
- координати ЯЕР чи АЕС (АТЕЦ):  $X_{АЕС}$ ,  $Y_{АЕС}$  (початок прямокутної системи координат суміщений з центром АЕС, а вісь  $OX$  спрямовується за напрямом вітру);
- час аварії:  $T_{\text{ча}}$  (добы / години); на 1.12.2010 р. становить 12 годин;
- частка викинутих з ЯЕР радіоактивних речовин –  $\eta$  (%) становить 10 %, наближено 0,1 частина від загальної кількості.

**Метеорологічна характеристика:**

- швидкість вітру на висоті 10 м:  $V_{10} = 5$  м/с;
- напрям вітру на висоті 10 м:  $A^0 = 0^0$ ;
- стан хмарності (відсутній, середній чи суцільний): відсутній.

**Додаткова інформація:**

- заданий час, на момент якого визначається поверхнева активність:  $T_{\text{зад}}$  (добы / години); на 1.12.2010 р. становить  $14^{00}$  годин;
- координати об'єкту:  $X = 30$  км,  $Y = 1$  км;
- тривалість опромінювання:  $t_{\text{опр}} = 3$  години;
- захищеність людей:  $K_{\text{осл.}} = 2$

**Проведення розрахунків:**

1. За таблицею 1 визначають категорію стійкості атмосфери, відповідно до умов погоди і заданого часу доби – Д: нейтральна (ізотермія).

Таблиця 1. Категорії стійкості атмосфери

Швидкість вітру на висоті 10м, м/с	Час доби				
	день			ніч	
	Наявність хмарності				
	Відсутня	Середня	Суцільна	Відсутня	Суцільна
$3 < V_{10} < 5$	Д	Д	Д	Д	Ф

2. За таблицею 2 визначають середню швидкість вітру в тому шарі атмосфери, в якому поширюється радіоактивна хмара – 5 м/с.

Таблиця 2. Середня швидкість вітру ( $V_c$ ) м/с

Категорія стійкості атмосфери	Швидкість вітру на висоті 10м ( $V_{10}$ ), м/с					
	менше 2	2	3	4	5	більше 6
Д	--	--	5	5	5	10

3. На карті визначають положення аварійного ЯЕР і відповідно до заданого напрямку вітру  $A^0 - 0^0$ , наносять вісь (чорним кольором). Відстань (X) зображується на осі сліду з урахуванням її зміщення по координаті Y.

4. За даними таблиці 3 наносять на карту у вигляді еліпсів (див. рис. 1) розміри зон радіоактивного забруднення для реактора РБМК – 1000, частка викиду радіоактивних речовин з якого складає 10% – 0,1 від загальної кількості;

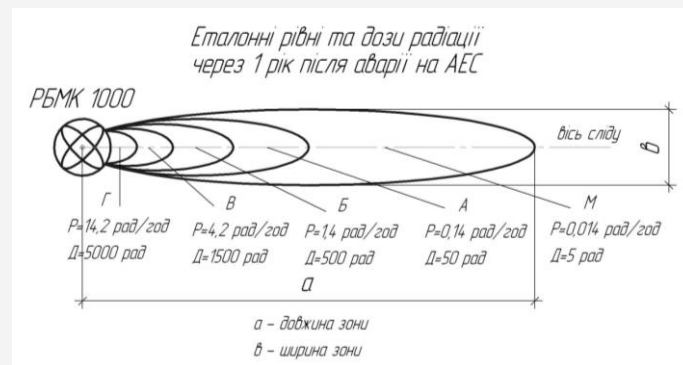
М (а = 272 км), (в = 14 км), а – довжина зона;

А (а = 60 км), (в = 2,45км), в – ширина зона;

Б (а = 11 км), (в = 0,32 км);

В – –

Г – –



**Рис. 1** Нанесення зон радіоактивного забруднення при аварії на АЕС

- **зона М** – зона радіаційної безпеки (червоний колір);
- **зона А** – зона помірного радіоактивного забруднення, (синій колір);
- **зона Б** – зона сильного радіоактивного забруднення, (зелений колір);
- **зона В** – зона небезпечного радіоактивного забруднення, (коричневий колір);
- **зона Г** – зона надзвичайно небезпечного радіоактивного забруднення, (чорний колір) [2,4].

Зони наносять з урахуванням масштабу карти.

Таблиця 3. Розміри прогнозованих зон радіоактивного забруднення місцевості на сліді хмари при аваріях на АЕС

Вихід активності %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК –1000			ВВЕР—1000		
		Довжина а (км)	Ширина в (км)	Площа км <sup>2</sup>	Довжина а (км)	Ширина в (км)	Площа км <sup>2</sup>
Категорія стійкості Д, швидкість вітру 5 м/с							
10	М	272	14	3080	110	5,33	440
10	А	60	2,45	115	19	0,58	8,75
10	Б	11	0,32	3,02	--	--	--

10	В	--	--	--	--	--	--
----	---	----	----	----	----	----	----

5. Визначається місце знаходження особового складу формувань ЦЗ, в нашому випадку на відстані – 30 км, середина зони А.

6. За таблицею 4 для відповідного типу ЯЕР (РБМК) і відстані від нього до об'єкту (Х) – 30 км визначається прогнозована потужність дози опромінення на осі сліду радіоактивної хмари через 1 годину після аварії:

$$P_{\text{прог.}} = 0,546 \text{ рад/год.}$$

Таблиця 4. Потужність дози опромінення на осі сліду, рад/год (реактор РБМК – 1000, вихід радіоактивних продуктів 10%, ЧАС – 1 година після зупинки реактора).

Відстань від АЕС, км	Категорія стійкості атмосфери				
	А	Д			Ф
	Середня швидкість вітру, м/с				
	2	5	10	5	10
30	0,122	0,546	0,355	0,303	0,212

7. За таблицею 5 визначається коефіцієнт ( $K_y$ ), що враховує зміни потужності дози в поперечному розрізі сліду відповідно до значення координати ( $Y = 1$  км);  $K_y = 0,75$ .

Таблиця 5. Коефіцієнт  $K_y$  для визначення потужності дози опромінювання. Категорія стійкості атмосфери Д

Х, км	Значення координати Y, км										
	0,5	1	2	4	5	6	10	20	30	40	50
30	0,93	0,75	0,31	0,01	-	-	-				

8. Розраховується приведені значення заданого часу (час, що минув після аварії –  $t_{\text{зад}}$ ):

$$t_{\text{зад}} = T_{\text{зад}} - T_{\text{ав}}, \text{ де:}$$

$T_{\text{зад}}$  – заданий час, за який визначається поверхнева активність;

$T_{\text{ав}}$  – час аварії.

$$t_{\text{зад}} = 14^{00} - 12^{00} = 2 \text{ години.}$$

9. За таблицею 6 визначається  $t_{\text{ф}}$  – час початку формування радіоактивного сліду після аварії;  $t_{\text{ф}} = 1,5$  години.

Таблиця 6. Час початку формування сліду ( $t_{\text{ф}}$ ) після аварії на АЕС, годин

Відстань до АЕС, км	Категорія стійкості атмосфери				
	А	Д			Ф
	Середня швидкість вітру, м/с				
	2	5	10	5	10
30	3,0	1,5	0,8	1,5	0,8

10. Порівнюють заданий приведені час і час формування сліду:

– якщо  $t_{\text{зад}} \leq t_{\text{ф}}$ , то  $As \text{ Кu/m}^2 = 0$ ,  $D \text{ (рад)} = 0$ ;

– якщо приведені заданий час  $t_{\text{зад}} > t_{\text{ф}}$ , то за таблицею 7 визначається  $K_t$  – коефіцієнт, що враховує спад потужності дози опромінення з часом, у нашому випадку через 2 години:  $K_t = 0,83$ .

Таблиця 7. Значення коефіцієнта  $K_t$  для розрахунку потужності дози опромінення на різні моменти часу після руйнування АЕС, реактор типу РБМК

Час визначення потужності дози опромінення, години		Час після аварії, на який перераховується потужність дози опромінення										
		Години						Доби				
		1	2	3	5	6	12	18	1	2	10	30
Год	1.00	1,00	0,83	0,75	0,64	0,61	0,48	0,42	0,37	0,28	0,13	0,07

11. Визначається прогнозована потужність дози опромінення на осі сліду радіоактивної хмари, через 2 години після аварії:

$$P_2 = P_{\text{прог.}} * K_t, \text{ де:}$$

$P_{\text{прог.}}$  – прогнозована потужність дози опромінення через 1 годину після аварії (рад/год);

$K_t$  – коефіцієнт, який враховує зміну потужності дози опромінення через 2 години після аварії.

$$P_2 = 0,546 \text{ рад/год} * 0,83 = 0,453 \text{ рад/год};$$

12. Розраховується  $K_w$  – коефіцієнт, що враховує електричну потужність ЯЕР (W) і частку радіоактивних речовин, викинутих з ЯЕР при аварії ( $\eta$ ):

$$K_w = 10^{-4} * n * W * \eta, \text{ де:}$$

$n$  – кількість аварійних ЯЕР;

$W$  – електрична потужність ЯЕР;

$\eta$  – частка викинутих з ЯЕР РР.

$$K_w = 10^{-4} * 1 * 1000 * 0,1 = 0,01.$$

13. За таблицею 8 для заданого часу – 2 години, визначають  $K_{\text{забр}}$  – коефіцієнт для отримання даних поверхневої активності на сліді радіоактивної хмари:  $K_{\text{забр}} = 0,13$ .

Таблиця 8. Коефіцієнт  $K_{\text{забр}}$  для визначення поверхневої активності (щільності забруднення,  $\text{Ки}/\text{м}^2$ ) на сліді хмари

Час, який пройшов після аварії	Години		Доби		Місяці		
	1	2	1	15	1	6	12
$K_{\text{забр}}$	0,11	0,13	0,14	0,17	0,19	0,27	0,33

14. Визначається поверхнева активність (щільність забруднення) радіоактивних речовин на 2 годину після аварії  $A_s$ ,  $\text{Ки}/\text{м}^2$ :

$$A_s = P_2 * K_y * K_t * K_w * K_{\text{забр}}$$

$$A_s = 0,453 * 0,75 * 0,83 * 0,01 * 0,13 = 0,000367 \text{ Ки}/\text{м}^2.$$

15. За таблицею 9 визначається  $D_{\text{зони}}$  – прогнозована доза опромінення (рад), яку отримає особовий склад формувань ЦЗ у середині зони А (за даними таблиці 4) при відкритому розташуванні через 2 години після аварії, якщо час перебування на забрудненій території 3 години:  $D_{\text{зони}} = 0,97$  рад.

Таблиця 9. Дози опромінення, які отримують люди за відкритого розташування в середині зони забруднення (рад).

Час початку опромінення після аварії	Тривалість перебування у зоні забруднення											
	Години					Доби				Місяці		
	1	3	7	12	18	1	3	5	10	1	6	12
Години	Зона А											
2	0,35	0,97	1,02	3,13	4,28	6,32	11,5	16,1	24,8	46,7	115	158

**Примітка:**

1. Дози опромінення у внутрішній зоні приблизно у 3,2 рази більші за наведені у таблиці, а на зовнішній у 3,2 рази менші.

2. Для визначення за допомогою таблиці часу початку ( $t_n$ ) або тривалості перебування ( $T$ ) в зоні необхідно задану дозу опромінення поділити на 3,2 – за перебування людей на внутрішній межі зони, або перемножити на 3,2 – за перебування людей на зовнішній межі зони.

16. Доза, яку отримає особовий склад формувань ЦЗ за час перебування  $t_{\text{опр}} = 3$  години в забрудненій зоні, буде дорівнювати:

$$D = (D_{\text{зони}} * K_{\text{зони}}) / K_{\text{осл}}, \text{ де:}$$

$D_{\text{зони}}$  – доза опромінення, яку отримає особовий склад формувань ЦО за умови відкритого розміщення в середині зони (рад);

$K_{\text{зони}}$  – коефіцієнт зони, (примітка до таблиці 9);

$K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт ослаблення за умовою задачі.

$$D = (0,97 * 1) / 2 = 0,485 \text{ рад.}$$

Методика проведення розрахункових завдань на визначення та виявлення радіаційного стану за масштабної аварії (руйнування) ядерного реактора атомних електростанцій дасть змогу не лише сформувати та узагальнити у студентів теоретичні знання з фундаментальних дисциплін, а й безпосередньо набути спеціально-предметних компетенцій, що сприятимуть підвищенню власного професійного рівня.

### **Використані джерела**

1. Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г., Єкимов Н.И. Гражданская оборона. – М.: Высшая школа, 1986. – С. 67 – 74
2. Белозеров Я.Е., Несытов Ю.К. Внимание! Радиоактивное заражение! – М.: Воениздат, 1982. – С. 33 – 38
3. Мельник О.В. Методика оцінки радіаційної, хімічної обстановки при ядерних вибухах, аваріях на атомних електростанціях та на об'єктах хімічної промисловості. – УДПУ : ПП Жовтий О.О., 2009. – 50 с.
4. Стеблюк М.І. Методика оцінки радіаційної, хімічної і пожежної обстановки. – К.: Друкарська дільниця УВК НАУ, 1998. – 66 с.
5. Ткаченко І.А., Мельник О.В., Краснобокий Ю.М. Використання розрахункових завдань у підготовці вчителів фізики як майбутніх керівників осередків цивільної оборони // Збірник наукових праць. Управління якістю підготовки майбутніх вчителів фізики та трудового навчання. – Кам'янець-Подільський державний університет, 2009. – Вип. 15. – С. 104 – 106

### **Анотація**

У статті пропонується можливий варіант методики визначення та виявлення радіаційного стану за масштабної аварії (руйнування) ядерного реактора атомних електростанцій, вибору і обґрунтування оптимальних режимів перебування живих організмів на забрудненій радіоактивними речовинами території.

In the article the possible variant of method of determination and exposure of the radiation state offered at the scale failure (destruction) of nuclear reactor of nuclear power plants, choice and ground of the optimum modes of stay of living organisms, on muddy radionuclide's is considered.

Довідка  
учасника ІХ Міжнародної науково-практичної конференції **“Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі”**

Прізвище, ім'я, по батькові – **Ткаченко Ігор Анатолійович**;  
Посада – доцент кафедри фізики і астрономії та методики їх викладання;  
Вчений ступінь – кандидат педагогічних наук;  
Повна назва організації – Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;  
Поштова адреса (робоча) – м. Умань, УДПУ імені Павла Тичини, фізико-математичний факультет, т. (04744) 5 90 84;  
Поштова адреса (робоча) – Черкаська обл., м. Умань, вул. Тищика 11, кв. 78, т. (04744) 3 12 92, моб. 80952732215;  
Номер секції – методологія навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі;  
Коло професійних інтересів – теорія навчання фізики і астрономії.

Довідка  
учасника ІХ Міжнародної науково-практичної конференції **“Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі”**

Прізвище, ім'я, по батькові – **Краснобокий Юрій Миколайович**;  
Посада – декан фізико-математичного факультету;  
Вчений ступінь – кандидат фіз.-мат. наук;  
Повна назва організації – Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;  
Поштова адреса (робоча) – м. Умань, УДПУ імені Павла Тичини, фізико-математичний факультет, т. (04744) 5 90 84;  
Поштова адреса (робоча) – Черкаська обл., м. Умань, вул. Жовтневої революції 57, кв. 3  
Номер секції – методологія навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі;  
Коло наукових інтересів – теорія навчання фізики.

Довідка  
учасника ІХ Міжнародної науково-практичної конференції **“Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі”**

Прізвище, ім'я, по батькові – **Мельник Олександр Васильович**;  
Посада – викладач кафедри валеології;  
Вчений ступінь –  
Повна назва організації – Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;  
Поштова адреса (робоча) – м. Умань, УДПУ імені Павла Тичини, фізико-математичний факультет, т. (04744) 5 90 84;  
Поштова адреса (робоча) – Черкаська обл., м. Умань, вул. Глібка 17, кв. 55  
Номер секції – методологія навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі;  
Коло наукових інтересів – теорія навчання фізики.