

ПІДГОТОВКА СТУДЕНТІВ-ФІЗИКІВ ДО ЗДІЙСНЕННЯ ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА АТОМНИХ ОБ'ЄКТАХ

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

Ключові слова: фізика, радіація, опромінення.

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.

Key words: physics, radiation, irradiation.

Постановка проблеми. Розвиток новітніх технологій, переоснащення на їх основі сучасного виробництва, зміна кліматичних умов на Землі, виникнення природних і техногенних глобальних катастроф (Чорнобиль – 1986 р.) та події в Японії, весна 2011 року), є важливим мотиваційними чинниками, що змушують до формування в майбутніх учителів дисциплін природничо-математичного та технологічного профілів додаткових компетенцій, пов'язаних з їх підготовкою до громадської діяльності, до якої вони залучаються як керівники осередків цивільної оборони з питань захисту населення від впливу негативних факторів при виникненні надзвичайних ситуацій у тій місцевості де працює вчитель [5].

З метою забезпечення такої підготовки учителів фізики й астрономії на фізико-математичному факультеті Уманського державного педагогічного університеті 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.

Виклад основного матеріалу.

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

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 (Твелами) а також ядерні боєприпаси. Основу АЕС як радіаційно небезпечного об'єкту складають ядерні реактори.

Ядерні реактори – це пристрої, котрі призначені для здійснення керованої ланцюгової реакції ділення ядер атомів урану та плутонію з метою отримання енергії, що йде на виробництво електроенергії або тепла.

На Україні існують АЕС з двома типами реакторів:

- РБМК – "реактор большой мощности канальный";
- ВВЕР – "водо-водяной энергетический реактор".

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, котра формується при миттєвому викиді радіоактивних речовин (РР) у продовж тривалого часу;
- тривалого радіоактивного забруднення місцевості.

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

Радіаційна обстановка може бути виявлена і оцінена двома способами:

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

Здійснення радіаційної розвідки потребує достатньо значного часу, тому при оперативній необхідності виявлення радіаційної обстановки (РО) здійснюється шляхом прогнозування.

Зони зараження наносяться на карти та схеми у вигляді еліпсів для 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 аварії проводять пряму лінію – вісь сліду, що відповідає напрямку руху радіоактивної хмари.

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

Нехай необхідно визначити поверхневу активність радіоактивних речовин (щільність зараження місцевості) на сліді хмари (As), Ku/m^2 , та дози опромінення D рад, яку отримає особовий склад формувань ЦО за t_p - час робіт на забрудненій території.

Вихідні дані:

- Інформація про АЕС:
- тип ЯЕР (РБМК, ВВЕР) - РБМК;
- електрична потужність ЯЕР – 1000 МВт;
- кількість аварійних ЯЕР – $n = 1$;

- координати ЯЕР чи АЕС (АТЕЦ) – $X_{\text{АЕС}}, Y_{\text{АЕС}}$ (початок прямокутної системи координат суміщений з центром АЕС, а вісь ОХ вибирається в напрямку вітру);

- астрономічний час аварії – $T_{\text{ав}}$, діб, годин = 1.12.2010 р. 12 годин;

- частка викинутих з ЯЕР РР - η , % = 10 % = 0,1 частина від загальної кількості.

- Метеорологічна характеристика:

- швидкість вітру на висоті 10 м - $V_{10} = 5$ м/с;

- напрямок вітру на висоті 10 м – $A^0 = 0^0$;

- стан хмарності – (відсутній, середній чи суцільний) - відсутній.

- Додаткова інформація:

- заданий астрономічний час, на який визначається поверхнева активність - $T_{\text{зад}}$, діб, годин = 1.12.2008 р. 14⁰⁰ 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 визначається категорія стійкості атмосфери, відповідно умовам погоди і заданому 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 визначається середня швидкість вітру у шарі атмосфери розповсюдження радіоактивної хмари – 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 визначається положення аварійного ЯЕР, і відповідно з заданим напрямком вітру $A^0 - 0^0$, наносимо вісь (чорним кольором), відстань (X) вимірюється по вісі сліду з урахуванням її зміщення від осі (X) (по координаті Y) радіоактивного сліду.

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

М (а = 272км), (в = 14км);

А (а = 60км), (в = 2,45км);

Б (а = 11км), (в = 0,32км);

В = -

Г = -

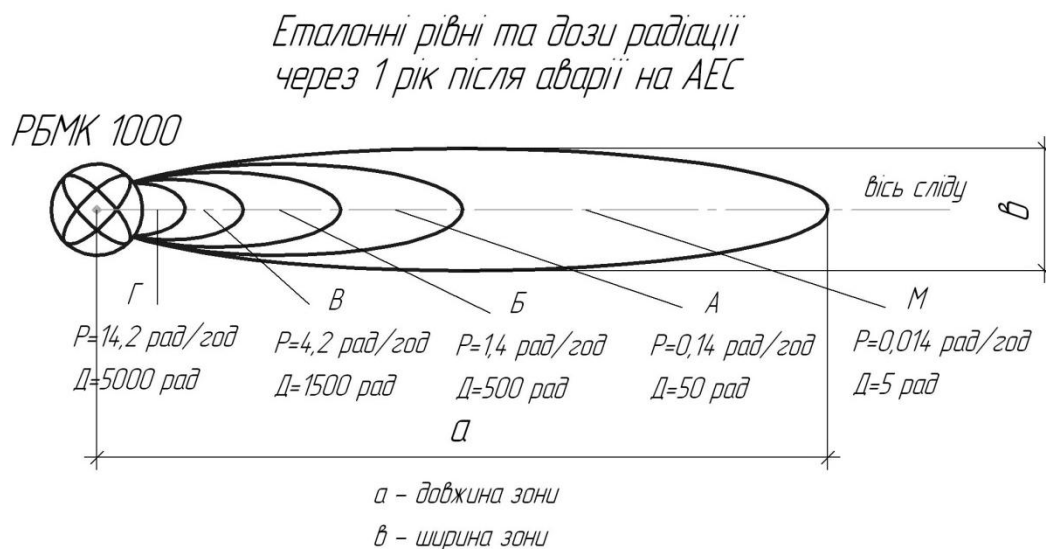


Рис. 1 Нанесення зон радіоактивного забруднення при аварії на АЕС

- зона М – зона радіаційної небезпеки, наноситься червоним кольором;
- зона А – зона помірного радіоактивного забруднення, наноситься синім кольором;
- зона Б – зона сильного радіоактивного забруднення, наноситься зеленим кольором;
- зона В – зона небезпечного радіоактивного забруднення, наноситься коричневим кольором;
- зона Г – зона надзвичайно небезпечного радіоактивного забруднення, наноситься чорним кольором.

Зони наносять з урахуванням масштабу карти.

Таблиця 3

Розміри прогнозуємих зон радіоактивного забруднення місцевості на сліді хмари при аваріях на АЕС

Вихід активності %	Індекс зони	Тип реактора					
		РБМК –1000			ВВЕР—1000		
		Довжина км	Ширина км	Площа км	Довжина км	Ширина км	Площа км
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 в якій зоні опинився особовий склад формувань ЦО, 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 (X) – 30 км визначається прогнозована потужність дози випромінення на вісі сліду радіоактивної хмари на 1 годину після аварії:

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

Таблиця 4

Потужність дози випромінення 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), враховуючий зміни потужності дози в поперечному розрізі сліду відповідно координати ($Y = 1$ км);

$$K_y = 0,75.$$

Таблиця 5

Коефіцієнт K_y для визначення потужності дози опромінювання у бік від вісі сліду. Категорія стійкості атмосфери Д

X, 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 пройшов після аварії – $t_{\text{зад}}$):

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

$T_{\text{зад}}$ - заданий астрономічний час, на який визначається поверхнева активність;

$T_{\text{ав}}$ - астрономічний час аварії.

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

9. За табл. 6 визначається $t_{\text{ф}}$ – час початку формування сліду після аварії;

$$t_{\text{ф}} = 1,5 \text{ години.}$$

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. Зрівнюється заданий приведений час і час формування:

- якщо $t_{\text{зад}} \leq t_{\text{ф}}$, то $A_s \text{ Ки/м}^2 = 0$, $D \text{ рад} = 0$;

- якщо приведений заданий час $t_{\text{зад}} > t_{\text{ф}}$ по **табл. 7** визначається K_t - коефіцієнт, враховуючий спад потужності дози випромінення в часі, в нашому випадку на 2 години.

$$K_t = 0,83.$$

Таблиця 7

Коефіцієнт K_t для розрахунку потужності дози випромінення на різний час після руйнування АЕС. Реактор типу РБМК

Час виміру потужності дози випромінення, години		Час після аварії, на який перераховується потужність дози випромінення										
		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 випромінення на вісі сліду радіоактивної хмари на 2 годину після аварії:

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

$P_{\text{прог}}$ - прогнозуєма потужність дози випромінення на 1 годину після аварії рад/год;

K_t – коефіцієнт, який враховує зміну потужності дози опромінення на 2 годину після аварії.

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

12. Розраховується K_w - коефіцієнт, враховуючий електричну потужність ЯЕР (W) і частку PP, викинутих з ЯЕР при аварії (η):

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

n - кількість аварійних ЯЕР;

W - електрична потужність ЯЕР;

η - частка викинутих з ЯЕР PP.

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

13. За таблицею 8 для заданого часу 2 години визначається $K_{\text{забр}}$ - 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, Ки/м^2) на сліді хмари

Час, який пройшов після вибуху	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) PP на 2 годину після аварії As, Ки/м² :

$$A_s = P_2 * K_v * K_t * K_w * K_{забр}$$

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

15. За таблицю 9 визначається D_{зони} - прогнозована доза опромінення рад, яку отримає особовий склад формувань ЦО в середині зони А (за даними табл.4) при відкритому розташуванні на 2 годину після аварії, якщо час перебування на забрудненій території 3 години:

$$D_{зони} = 0,97 \text{ рад.}$$

Таблиця 9

Дози опромінення, які отримують люди при відкритому розміщенні 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 на внутрішній зоні приблизно у 3,2 рази більші наведених у таблиці, а на зовнішній у 3,2 рази менші наведених у таблиці.
 2. Для визначення за допомогою таблиці часу початку (tp) або тривалості перебування (T) в зоні необхідно задану дозу опромінення поділити на 3,2 – при перебуванні людей на внутрішній межі зони, або перемножити на 3,2 – при перебуванні людей на зовнішній межі зони.

16. Доза яку отримає особовий склад формувань ЦО за час перебування t_{опр} - 3 години в забрудненому районі, буде дорівнювати:

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

D_{зони} - доза опромінення яку отримає особовий склад формувань ЦО при умові відкритого розміщення в середині зони рад;

K_{зони} – коефіцієнт зони примітка **табл.9**;

K_{осл} – коефіцієнт ослаблення за умовою задачі.

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

Висновок. Методика проведення розрахункових завдань на визначення т виявлення радіаційного стану за масштабної аварії (руйнування) ядерного реактора атомних електростанцій дасть змогу не лише сформувані 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