

О. Л. Туровський^{1,*}, Є. В. Гаврилко², О. М. Панкратов¹, Л. А. Устінова³,
Б. Д. Халмурадов¹, В. Л. Богаєнко³

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

² Національний технічний університет України

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна

³ Українська військово-медична академія, Київ, Україна

*Відповідальний автор: s19641011@ukr.net

ОЦІНКА НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТАКТИЧНОЇ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ НА НАСЕЛЕННЯ ТА ІНФРАСТРУКТУРУ В РАЙОНАХ ЯДЕРНОГО ВИБУХУ

У статті проведено аналіз процесу формування та встановлено характеристики уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу потужністю від 0,1 до 10 кт при нанесенні ураження військовим об'єктам та супутньому ураженню населення цивільних громад і персоналу об'єктів інфраструктури. Наведено дані розрахунків параметрів зон дії повітряної ударної хвилі, потоку проникаючої радіації, променевого потоку енергії світлового імпульсу та розмірів зони радіоактивного забруднення місцевості, які можуть створити негативний вплив на населення, житлові будівлі, персонал та споруди об'єктів критичної інфраструктури в районі застосування тактичної ядерної зброї. Показано, що зона ураження повітряною ударною хвилею, залежно від виду вибуху тактичного ядерного боєприпасу та його потужності може досягати радіуса до 3100 м. Небезпечне ураження світловим імпульсом населення та персоналу, що знаходяться відкрито на місцевості, буде спостерігатися на відстані від 440 до 3700 м від епіцентра ядерного вибуху. Негативний вплив проникаючої радіації ядерного вибуху на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури буде спостерігатися на відстанях від 560 до 1300 м залежно від типу вибуху та потужності тактичного ядерного боєприпасу. Розміри зони радіоактивного забруднення при вибуху тактичного ядерного боєприпасу, в якій буде спостерігатися найбільш важкий ступінь радіаційного ураження населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури, при відкритому знаходженні їх на місцевості залежно від потужності та типу вибуху можуть сягати від 1400 до 2600 м. А зона, в якій необхідно проводити першочергову негайну евакуацію населення, може становити від 3,4 до 44,0 км за напрямком дії середнього вітру. Визначено, що масштаби радіоактивного забруднення місцевості будуть мати найбільші значення розмірів районів негативного впливу відносно інших видів уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу. На великих територіях регіонів, прилеглих до району застосування вказаного боєприпасу, буде створено значний негативний радіаційний вплив, що буде потребувати заходів радіаційного захисту та евакуації населення.

Ключові слова: ядерна зброя, ядерний вибух, уражаючі фактори ядерного вибуху.

1. Вступ

У сучасних умовах збройної агресії Російської Федерації проти територіальної цілісності та незалежності України є актуальною оцінка ризиків і загроз, які можуть бути створені внаслідок застосування супротивником різних видів конвенційної зброї та зброї, що кваліфікується як зброя масового ураження. Вказана зброя включає три основні компоненти, а саме: ядерну зброю, хімічну зброю та біологічну зброю. Питання, яке порушує дана публікація – це саме наслідки можливого застосування ядерної зброї.

Відомо, що станом на лютий 2022 р. офіційно володіють ядерною зброєю п'ять країн та ще три задекларували її наявність, підтвердивши цей факт відповідними ядерними випробуваннями. Однією з таких країн, що має на озброєнні ядерну зброю, є Російська Федерація, яка з 24 лютого

2022 р. перейшла до активної фази застосування своїх збройних сил на території України [1].

Масоване та немотивоване застосування Російською Федерацією різних типів конвенційної зброї, по широкому спектру військових та цивільних об'єктів, великі площі суцільних уражень населених пунктів, громадських, цивільних об'єктів та об'єктів інфраструктури України, а також прийняті керівництвом Російської Федерації політичні рішення щодо таких дій та реалізація їх у порушення низки міжнародних угод та домовленостей викликали в громадському суспільстві законні та вмотивовані запити щодо можливого застосування Російською Федерацією ядерної зброї [2, 3]. А активне публічне обговорення вказаного факту, залучення до нього певної кількості фахівців, тиражування їхніх висновків та особистих думок сформувало суспільний

© О. Л. Туровський, Є. В. Гаврилко, О. М. Панкратов,
Л. А. Устінова, Б. Д. Халмурадов, В. Л. Богаєнко, 2023

запит на інформацію, яка б розкривала сутність застосування ядерних зарядів та висвітлювала можливі наслідки ядерного вибуху боєприпасу, який кваліфікується як тактичний ядерний боєприпас.

Питання оцінки наслідків можливого застосування ядерної зброї широко висвітлюються в громадському суспільстві, військовому та науковому середовищах і, як правило, охоплює питання оцінки наслідків ядерних вибухів зарядів, що за кваліфікацією відносяться до оперативно-тактичних чи стратегічних ядерних боєприпасів. При цьому, оцінюється, як правило, вплив ядерного вибуху на об'єкти та структури у військовій та військово-промисловій сферах з деяким акцентом на руйнування цивільних та житлових об'єктів, що можуть виникнути при застосуванні ядерної зброї поруч чи безпосередньо по населених пунктах з великою щільністю населення. При цьому, необхідно врахувати, що певні оцінки мають конфіденційний характер та, як правило, опубліковані в закритих джерелах без доступу до них основної спільноти зацікавлених фахівців.

Конфіденційність у даному випадку визначається бойовою ефективністю ядерної зброї, вона, в свою чергу, залежить від бойових можливостей боєприпасу по створенню певних зон ураження різними факторами ядерного вибуху. Ці зони характеризуються розмірами та масштабами впливу на війська, населення та різні об'єкти, і визначаються конкретно потужністю заряду та видом його застосування. А це в кінцевому результаті визначає цілі, по яких даний боєприпас може бути застосований, що є конфіденційною інформацією та не може бути опубліковано у відкритих джерелах.

Виходячи з вирішення питання приховування даних по бойових можливостях ядерної зброї, більшість опублікованих у відкритих джерелах робіт присвячена питанням захисту від уражаючих факторів ядерного вибуху без прив'язки до конкретних типів ядерних боєприпасів, їх потужності та характеристик їх уражаючих факторів.

Наприклад, роботи [4 - 8] достатньо показово подають принципи, методи та способи захисту від уражаючих факторів ядерного вибуху, одночасно не розкриваючи значень кількісних показників зон ураження уражаючими факторами з прив'язкою їх до потужності вибуху боєприпасу.

Роботи [9, 10] найбільш широко відомі в загальному доступі та дають загальну інформацію щодо побудови та принципів застосування різних типів ядерних боєприпасів також без урахування прив'язки їхніх можливостей до потужно-

сті. У роботі [10] дещо конкретизовано матеріал щодо застосування одного з типів ядерних боєприпасів, а саме ядерних мін. Подані у вказаній роботі математичні залежності та оціночні характеристики, що отримані на їх основі, дають змогу загалом оцінити один із уражаючих факторів ядерного вибуху боєприпасу, а саме розміри вирви при наземному чи підземному (камуфлетному) вибуху тактичної ядерної міни. Це має значення для оцінки побудови інженерних загороджень, але не дає уявлення щодо впливу інших факторів такого виду ядерного вибуху на всю сукупність можливих об'єктів ураження та оточуючих їх районів розосередження населення і розміщення персоналу об'єктів критичної інфраструктури.

Одночасно з цим, останнім часом з'являються публічні матеріали, в яких певною мірою в достатньо загальних поняттях висвітлюються масштаби застосування ядерних зарядів визначеної потужності. Так, публікація [11] присвячена оцінці впливу ядерного вибуху на один з військових інфраструктурних об'єктів, що розміщений у Західній Європі. Цілком показово визначено радіуси зон ураження від уражаючих факторів ядерного вибуху, які включають повітряну ударну хвилю, світлове випромінювання, проникаючу радіацію та радіоактивне забруднення місцевості. Але вказана робота присвячена оцінці наслідку застосування ядерного вибуху потужністю 200 кт, тобто боєприпасу середньої потужності оперативно-тактичного призначення. Цілком зрозуміло, що орієнтуватися на дані цієї роботи щодо оцінки вибухів тактичних ядерних боєприпасів недоцільно.

У публікації [12] викладено результати дослідження щодо впливу атмосферних умов і висоти ядерного вибуху на радіаційне забруднення простору довкілля внаслідок такого вибуху. Але всі оцінки, в тому числі і моделювання за допомогою відповідного математичного ресурсу, здійснювалися відносно ядерного заряду потужністю 15 кт.

Певну прив'язку до потужності ядерного вибуху та сформованих ним параметрів уражаючих факторів дає змогу здійснити математичний апарат, за допомогою якого можна отримати певні результати [13]. Опубліковані в цій роботі дані та висновки спираються на застосування програмного ресурсу, який дає можливість провести розрахунки уражаючих факторів ядерного вибуху залежно від його виду та потужності. За результатами оцінки параметрів уражаючих факторів, здійсненої відносно потужностей заряду від 0,1 до 1,0 кт, у цілому зрозумілі радіуси зон ураження повітряною ударною хвилею,

світловим випромінюванням, проникаючою радіацією та радіоактивним забрудненням місцевості. Але відсутня безпосередня оцінка впливу одержаних значень параметрів уражаючих факторів ядерного вибуху на населення, будівлі та споруди.

Достатньо інформативними з точки зору окреплення ефектів основного впливу ядерного вибуху на населення та об'єкти різної інфраструктури є матеріали відеолекцій, що подано на ресурсі [14]. Подані в даних відеолекціях матеріали загалом дають уяву про масштаби та наслідки впливу уражаючих факторів ядерного вибуху на населення, різні будівлі та споруди. При оцінці деяких уражаючих факторів використовувалися дані розрахунків, що проводилися відносно потужності ядерних боєприпасів, які кваліфікуються як тактичні. Загалом, подані відеолекції містять певні узагальнені кількісні оцінки щодо наслідків ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу, але не дають повної відповіді щодо оцінки впливу всіх уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу, що формуються по певному спектру потужностей тактичних ядерних боєприпасів.

Необхідно відзначити, що отримані за допомогою [13] розрахунки та певні висновки, подані в роботах [1, 3, 10, 14], підтверджують факт переважаючих розмірів зони ураження проникаючою радіацією та зони радіаційного забруднення за масштабами та наслідками впливу на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури порівняно з іншими уражаючими факторами ядерного вибуху. При цьому, подані характеристики зони радіаційного забруднення не дають змоги здійснити повну оцінку впливу всієї композиції уражаючих факторів ядерного вибуху на населення відповідно до прийнятих норм та правил оцінки радіаційної обстановки як в особливий період, так і в мирний час.

Наявність певних розрахункових даних та одержаних на їхній основі висновків не знімає актуальності та необхідності вирішення завдання щодо встановлення значень характеристик уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу. А проведена на основі встановлення значень вказаних характеристик оцінка впливу наслідків застосування тактичної ядерної зброї на населення та інфраструктуру в районах вибуху та розповсюдження його наслідків є актуальною науковою задачею, вирішенню якої присвячена дана стаття.

Метою статті є визначення масштабів впливу ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу на населення та об'єкти інфраструктури в

районах застосування та зонах розповсюдження його наслідків.

Для досягнення вказаної мети в роботі необхідно:

визначити характеристики уражаючих факторів ядерного вибуху як функцію відповідно потужності та виду застосування тактичного ядерного заряду боєприпасу;

встановити вплив уражаючих факторів ядерного вибуху на населення та об'єкти інфраструктури в районах застосування ядерного заряду та зонах розповсюдження його наслідків;

оцінити вплив уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури, що можуть знаходитися в районі його застосування.

Під терміном ядерна зброя в роботі приймається зброя масового ураження, уражаюча дія якої, основана на використанні енергії внутрішньоядерних перетворень, викликаних ланцюговим поділом важких ядер ізотопів урану і плутонію або синтезу ізотопів водню в більш важкі ізотопи інших елементів [15, 16, 17].

Для дослідження прийнято процес протікання ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу та механізми формування його уражаючих факторів та наслідків впливу на населення та інфраструктуру в районах ядерного вибуху. При цьому враховано, що ядерний вибух на земній поверхні чи у повітрі над нею супроводжується утворенням ряду факторів ураження. Сам ядерний вибух за видом застосування може кваліфікуватися як підземний (підводний), наземний (надводний), повітряний, висотний та космічний.

Потужність ядерних зарядів, прийнята до дослідження, в роботі оцінюється за еквівалентною кількістю тротилу в тонах, при вибуху якого виділяється така ж кількість енергії, що і при вибуху даного ядерного заряду.

За потужністю вибуху та масштабом застосування ядерні боєприпаси поділяють на п'ять груп. Їхню градацію подано в Табл. 1 [4].

Відповідно до прийнятої кваліфікації, ядерні боєприпаси тактичної ланки призначені для вирішення завдань вогневого ураження бойових порядків та районів розосередження супротивника в його тактичній глибині, яка може охоплювати території до 100 км² [5].

Методами дослідження прийнято методи математичного моделювання та ймовірнісного прогнозування для кількісної оцінки значень уражаючих факторів та нанесених ними втрат населенню та інфраструктурі в районах ядерного вибуху.

Таблиця 1. Класифікація ядерних боєприпасів

Калібр боєприпасів	Троїловий еквівалент	Тип заряду	Масштаб застосування
Надмалий	Менше 1 кт	Атомний. Нейтронний	Тактичний
Малий	1 - 10 кт	Атомний. Нейтронний	Тактичний
Середній	10 - 100 кт	Атомний. Термоядерний	Оперативно-тактичний
Великий	100 кт - 1 мт	Термоядерний	Оперативно-тактичний. Стратегічний
Надвеликий	Більше 1 мт	Термоядерний	Стратегічний

2. Матеріали та результати дослідження

Проведемо дослідження та визначимо види та характеристики уражаючих факторів, що формуються при застосуванні тактичного ядерного боєприпасу та можуть чинити вплив на будівлі, споруди, населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури.

Врахуємо, що при застосуванні ядерного боєприпасу формуються уражаючі фактори ядерного вибуху, а саме: повітряна ударна хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація, радіоактивне забруднення атмосфери і поверхні землі (об'єктів), електромагнітний імпульс та, за певних умов, сейсмовибухові хвилі в підстилюючій земній поверхні [16, 17].

Розглянемо особливості формування та характеристики основних уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу окремо за їхніми типами та важливістю щодо впливу.

Повітряна ударна хвиля.

Повітряна ударна хвиля ядерного вибуху формується внаслідок перетворення близько 50 % енергії ядерного вибуху у вигляді надвисокої температури на прогрів та на кінетичну енергію розжареної маси повітря та залишків конструкції боєприпасу в епіцентрі ядерного вибуху.

Завдяки цьому виникає надмірний тиск у певних шарах атмосфери, що призводить до руху мас повітря та розширення цього шару в просторі з надзвуковою швидкістю. Відстань в 1 км повітряна ударна хвиля проходить за 2 с, 2 км – за 5 с і 3 км – за 8 с. Повітряна ударна хвиля створює уражаючий ефект впливом на людей та об'єкти надмірним тиском та імпульсом надмірного тиску під час руху стиснутої маси повітря (фронт ударної хвилі) від епіцентра вибуху (метальна дія).

Основний параметр, що характеризує уражаючу дію повітряної ударної хвилі, це надмірний тиск (ΔP_f) на заданій відстані, значення якого залежить від потужності боєприпасу. У міру руху ударної хвилі тиск на її фронті падає. Тобто значення надмірного тиску в даній точці простору, крім потужності боєприпасу, також залежить і від відстані до епіцентра вибуху.

Під дією повітряної ударної хвилі у просторі утворюються зони ураження, що відносно збитків, нанесених людям та об'єктам інфраструктури, кваліфікуються як зони повного, середнього та слабого ураження (руйнування).

Характер уражень та руйнувань відповідно визначеним типам зон ураження подано в Табл. 2 [16, 17].

Таблиця 2. Дія повітряної ударної хвилі ядерного вибуху на об'єкти та населення

Зона ураження	Характер ураження об'єктів та споруд	Характер ураження населення та персоналу
Легке ураження	Пошкодження входних дверей, покрівлі даху, віконного скла	Легкі ураження: легка загальна контузія, вивихи кінцівок, тимчасова втрата слуху
Середнє ураження	Середнє та сильне руйнування будинків та споруд. Створення окремих завалів	Ураження незахищеного населення: загальна контузія, ураження органів слуху, переломи кінцівок, кровотечі з носа та вух
Сильне ураження	Сильне руйнування будинків та споруд. Виведення з ладу та пошкодження комунально-енергетичних систем і мереж. Створення окремих завалів. Створення зон окремих пожеж	Сильна контузія всього організму, важкі переломи та ампутація кінцівок, ураження внутрішніх органів
Повне ураження	Повне руйнування будинків і споруд. Пошкодження і руйнування комунально-енергетичних систем і мереж. Часткове пошкодження сховищ, зони суцільних завалів і пожеж. Повне знищення лісових насаджень	Масова загибель незахищеного населення та персоналу через травми, які призводять до летальних випадків

Розрахунок радіуса зони ураження (R_p) здійснюється за виразом [17]

$$R_p = A\sqrt[3]{q} \text{ км}, \quad (1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від виду вибуху та типу зони ураження (Табл. 3); q – потужність ядерного вибуху в кілотоннах (кт) тротилового еквіваленту.

Таблиця 3. Значення параметра A відповідно до типу зони ураження повітряною ударною хвилею ядерного вибуху

Тип ураження	ΔP_f , кПа	A	
		Повітряний вибух	Наземний вибух
Легкий	10 - 20	1,1	1,4
Середній	20 - 30	0,7	0,75
Сильний	30 - 50	0,5	0,55
Повний	> 50	0,35	0,4

Розрахунки зон ураження повітряною ударною хвилею, що можуть сформуватися при ядерному вибуху тактичного ядерного боєприпасу, розподілені за видами ядерного вибуху відносно

ступеня ураження об'єктів та населення для різних потужностей вибуху боєприпасу, подано в Табл. 4.

Таблиця 4. Розміри зон ураження повітряною ударною хвилею при ядерному вибуху тактичного ядерного боєприпасу

Зона ураження	Потужність ядерного боєприпасу (q), кт							
	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	7,0	10,0
Радіус зони ураження при наземному вибуху, км								
Повне ураження	0,19	0,25	0,31	0,40	0,50	0,69	0,77	0,86
Сильне ураження	0,26	0,35	0,44	0,55	0,70	0,90	1,1	1,2
Середнє ураження	0,35	0,47	0,60	0,75	0,95	1,3	1,4	1,6
Легке ураження	0,65	0,90	1,1	1,4	1,8	2,4	2,7	3,1
Радіус зони ураження при повітряному вибуху, км								
Повне ураження	0,16	0,22	0,28	0,35	0,44	0,6	0,67	0,75
Сильне ураження	0,23	0,32	0,40	0,50	0,63	0,85	0,96	1,1
Середнє ураження	0,33	0,44	0,60	0,70	0,90	1,2	1,3	1,5
Легке ураження	0,50	0,70	0,90	1,1	1,4	1,9	2,1	2,4

Аналіз поданих у Табл. 4 даних показує, що зона ураження повітряною ударною хвилею, сформованою при застосуванні тактичного ядерного боєприпасу залежно від виду вибуху та його потужності може досягати 3100 м. При цьому зона повного ураження об'єктів та населення може сягати від 200 до 860 м від епіцентра ядерного вибуху залежно від його потужності та виду.

Світлове випромінювання.

Світлове випромінювання ядерного вибуху – це променевий потік електромагнітної енергії від

вогняної кулі ядерного вибуху в усі боки. Воно включає випромінювання променевої енергії у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній частинах електромагнітного спектра. Його джерело – перерозподіл приблизно до 35 % енергії ядерного вибуху в електромагнітну енергію у видимому та інфрачервоному діапазонах та формування променевого потоку енергії. Тривалість дії світлового випромінювання (t_{CB}) пов'язана з потужністю ядерного вибуху. Її значення відносно потужностей тактичних ядерних зарядів боєприпасів подано в Табл. 5 [17].

Таблиця 5. Тривалість світлового випромінювання ядерного вибуху

Потужність ядерного боєприпасу, кт	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	7,0	10,0
t_{CB} , с	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,7	1,9	2,2

У населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури, при відкритому розташуванні на місцевості світлове випромінювання ядерного вибуху може викликати опіки шкіри, ураження очей і короткочасне засліплення. Опіки виника-

ють від безпосередньої дії світлового випромінювання на відкриті ділянки шкіри (первинні опіки), а також від тліючого одягу, в осередку пожеж (вторинні опіки) [15, 16, 17].

Ступінь ураження населення та персоналу, а

також ураження об'єктів та споруд визначається світловим імпульсом U_{CB} , кДж/м², який залежить від потужності ядерного боєприпасу та відстані від епіцентра ядерного вибуху до об'єкта.

Класифікацію та характеристики ступеня ураження населення та персоналу і характеристика тяжкості нанесеної шкоди відкритим ділянкам шкіряної поверхні подано в Табл. 6 [16, 17].

Таблиця 6. Вплив світлового випромінювання на людей

Ступінь ураження (опіку)	U_{CB} , кДж/м ²	Характер ураження
I	100 - 200	Почервоніння та припухлість шкіри. Працездатність не втрачається
II	200 - 400	Опіки у вигляді пухирів. Потрібне лікування
III	400 - 600	Опіки на всю глибину шкіряного покриву. Поява виразок. Необхідне тривале лікування
IV	> 600	Ураження шарів живої тканини глибше шкіряного покриву, що викликає її обуглювання та відмирання

Опіки очей (при прямому погляді на область сяяння вогняної кулі ядерного вибуху) можливі на відстанях, які значно перевищують радіуси зон опіків шкіри. Тимчасове засліплення виникає частіше всього вночі та в сутінках, не залежить від напрямку погляду в момент вибуху й буде носити масовий характер. Удень воно виникає лише при погляді на область свічення ядерного вибуху. Тимчасове засліплення проходить швидко, не залишає наслідків, і медична допомога майже не потребується.

Розрахунок розмірів зон розповсюдження

світлового імпульсу із заданою потужністю здійснюється за виразом [17]

$$R_p = B\sqrt[3]{q} \text{ км}, \quad (2)$$

де B – коефіцієнт значення світлового імпульсу, q – потужність ядерного боєприпасу в кілотонах (кт) тротилового еквіваленту.

Розміри зон різного ступеня ураження населення та персоналу для різних потужностей ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу подано в Табл. 7.

Таблиця 7. Розміри зон ураження населення та персоналу світловим імпульсом ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу

Ступінь ураження	Потужність ядерного боєприпасу (q), кт							
	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,0	10,0
Радіус зони ураження при наземному вибуху, км								
Ступінь ураження (I)	0,44	0,60	0,76	0,95	1,20	1,60	1,8	2,0
Ступінь ураження (II)	0,30	0,40	0,50	0,65	0,80	1,1	1,2	1,4
Ступінь ураження (III)	0,20	0,30	0,36	0,46	0,58	0,80	0,90	1,0
Ступінь ураження (IV)	0,17	0,24	0,30	0,38	0,48	0,65	0,70	0,80
Радіус зони ураження при повітряному вибуху, км								
Ступінь ураження (I)	0,80	1,1	1,4	1,7	2,1	3,0	3,3	3,7
Ступінь ураження (II)	0,60	0,80	1,0	1,3	1,6	2,1	2,4	2,7
Ступінь ураження (III)	0,40	0,55	0,70	0,90	1,1	1,5	1,7	1,9
Ступінь ураження (IV)	0,33	0,45	0,55	0,70	0,90	1,2	1,4	1,5

Аналіз даних, поданих у таблиці, показує, що на однакових відстанях повітряний ядерний вибух формує світловий імпульс, який, на 50 % і більше, більш потужний та переважає за впливом значення світлового імпульсу наземного ядерного вибуху.

У цілому, негативний вплив світлового випромінювання вибуху тактичного ядерного заряду на населення та персонал, що знаходяться відкрито на місцевості, може спостерігатися на відстані від 440 до 3700 м від епіцентра ядерного вибуху залежно від потужності тактичного ядерного боєприпасу та виду вибуху. При цьому, на відстанях від 170 до 1500 м будуть спостерігати-

ся найбільш тяжкі випадки ураження, яке буде потребувати прийняття негайних заходів щодо надання допомоги та лікування уражених.

Ефект впливу світлового випромінювання на об'єкти та споруди проявляється у виникненні пожеж. Мінімальна величина світлового імпульсу, що призводить до виникнення пожежі в завалах житлових та господарчих будівель становить 100 - 150 кДж/м².

При $U_{CB} = 100 - 600$ кДж/м² утворюється зона окремих пожеж.

При U_{CB} , що дорівнює 600 - 1700 кДж/м² утворюється зона суцільних пожеж.

При $U_{CB} > 1700$ кДж/м² утворюється зона горіння та тління в завалах.

Виходячи з даних, поданих у Табл. 7, можна зробити висновок про те, що зона IV ступеня ураження населення та персоналу буде також характеризуватися суцільними пожежами та задимленням будівель і споруд. В інших зонах можуть виникати окремі пожежі.

Розміри зони, в якій можуть виникнути найбільш тяжкі наслідки впливу світлового імпульсу ядерного вибуху ($U_{CB} > 1700$ кДж/м²), розраховані за допомогою виразу (2), можуть сягати протяжності від 120 до 900 м від епіцентра ядерного вибуху залежно від потужності та виду вибуху тактичного ядерного боєприпасу.

Необхідно відзначити, що у зонах впливу світлового випромінювання стан уражених буде також визначатися впливом повітряної ударної хвилі та проникаючою радіацією. Тобто виникає певне поєднання негативних впливів уражаючих факторів ядерного вибуху, яке визначається як комплексне ураження окремих представників населення та персоналу в зонах дії наслідків застосування ядерної зброї. Комплексне ураження може проявити негативний вплив на відстанях від епіцентра, які дещо перевищують відстані, встановлені для окремих негативних уражаючих факторів ядерного вибуху.

Проникаюча радіація ядерного вибуху.

Проникаюча радіація ядерного вибуху формується внаслідок внутрішньоядерних перетворень ядерного пального в момент вибуху та при радіоактивному розпаді продуктів поділу ядерного пального з коротким періодом розпаду

[15, 16, 17].

Проникаюча радіація ядерного вибуху включає:

флюєнс нейтронів – 10^{11} - 10^{15} нейтр-см²;

дозу гамма-квантів, до 29,5 Кл/кг;

рентгенівське випромінювання, до 10^4 кал-см².

Час дії проникаючої радіації сягає 2 - 25 с. Її дія практично завершується з підняттям хмари ядерного викиду на визначені висоти, коли шар повітря починає поглинати потік нейтронів і вони не досягають поверхні землі.

Промені проникаючої радіації, проходячи через поверхню різних матеріальних перешкод та живу тканину біологічних організмів, створюють в них певний ефект.

Взаємодія нейтронних потоків з різними речовинами призводить до зміни внутрішньоядерної структури цих речовин та утворення в них наведеної активності на поверхнях, через які пройшов потік нейтронів. Поява наведеної активності, виходячи з потужності тактичного ядерного боєприпасу та часу дії нейтронного потоку, значною мірою підвищує рівень радіаційного забруднення місцевості та об'єктів і враховується в загальних розрахунках його масштабів [18, 19].

При проходженні через живу тканину проникаюча радіація уражає клітини і призводить до виникнення променевої хвороби [19].

Ступені променевої хвороби та їхня характеристика подано в Табл. 8.

Таблиця 8. Ступені променевої хвороби

Ступінь променевої хвороби	D_p , Гр	Характеристика ураження
I (легкий)	1 - 2	Прихований період 2 - 5 тижнів. Слабке нездужання. Загальна слабкість та нудота. Запаморочення, підвищення температури
II (середній)	2 - 4	Протягом 1 - 2 діб різке погіршення загального стану. Первинна реакція – нудота та блювання. Прихований період до 20 діб – загальна слабкість, нудота, підвищення температури. Повне видужання через 2 - 3 міс.
III (важкий)	4 - 6	Різко виражена первинна реакція. Хвороба протікає тяжко та потребує лікування до 6 міс.
IV (вкрай важкий)	> 6	Різко виражена первинна реакція, до втрати свідомості. Хвороба протікає важко і, як правило, призводить до летальних випадків

Поглинена доза радіоактивного опромінення залежить від потужності ядерного боєприпасу та місцезнаходження окремих представників населення та персоналу відносно епіцентра ядерного вибуху: відкрито на місцевості, в житлових будівлях або різних спорудах у підвалах або захищених сховищах.

Орієнтовані значення відстаней від епіцентра ядерного вибуху, на яких можна отримати дози опромінення вище зазначених для IV ступеня променевої хвороби при відкритому розташу-

ванні на місцевості, подано в Табл. 9 [13, 17, 19].

Вплив проникаючої радіації вибуху тактичного ядерного заряду на людей залежно від виду вибуху та його потужності буде спостерігатися на відстанях від 560 до 1300 м. Ступінь ураження людей при знаходженні їх у автомобілі, автобусі, будівлі з дерева буде меншим у 2 рази, у житлових будинках – у 10 - 15 разів, у підвалах – до 40 разів, у сховищах – від 500 до 5000 разів.

Ефект впливу проникаючої радіації при застосуванні тактичного нейтронного ядерного боє-

Таблиця 9. Розміри зон ураження населення та персоналу проникаючою радіацією ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу

Ступінь променевої хвороби	Потужність ядерного боєприпасу (q), кт							
	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,0	10,0
IV – $D_p > 6$ Зв	Радіус зони ураження при наземному вибуху, км							
	0,56	0,66	0,74	0,84	0,97	1,11	1,18	1,25
	Радіус зони ураження при повітряному вибуху, км							
	0,54	0,63	0,70	0,78	0,94	1,0	1,17	1,25

припасу буде більшим на 20 - 30 % порівняно з даними, поданими в Табл. 9. А утворена ним зона радіаційного ураження характеризуватиметься наведеною активністю матеріалів будівель, споруд, транспорту, обладнання та матеріальних засобів.

При вибуху нейтронної бомби потужністю 1 кт, коли повітряна ударна хвиля і світлове випромінювання уражають у радіусі 130 - 150 м, сумарне гамма-нейтронне випромінювання становитиме: у радіусі 1 км – до 30 Гр, 1,2 км – 8,5 Гр, 1,6 км – 4 Гр, до 2 км – 0,75 - 1 Гр [20].

Радіоактивне забруднення місцевості.

Радіоактивне забруднення місцевості – це фактор ураження, що утворюється в процесі випадіння радіоактивних частинок з хмари та пилового стовпа на поверхні землі, будинків та споруд, різноманітної техніки та інших об'єктів, а також наведена активність ґрунту і матеріалу конструкцій різних об'єктів потоком нейтронів.

Джерелом радіоактивного забруднення є [21]:

продукти ділення ядерного пального (близько 200 ізотопів різних елементів та до 36 хімічних сполук);

частина ядерного пального, що не прореагувала в ході ядерної реакції;

залишки елементів конструкції ядерного боєприпасу, активовані в ході розвитку ланцюгової ядерної реакції;

частинки ґрунту та різних матеріалів з підсилоючої поверхні епіцентра ядерного вибуху, розплавлені, конденсовані та активовані в ході розвитку ланцюгової ядерної реакції.

Хмара ядерного вибуху складається з твердих радіоактивних частинок розміром від 2 до 25 мкм [22].

При повітряному ядерному вибуху радіоактивні частинки складаються з оксидів заліза, алюмінію, урану, плутонію та інших хімічних елементів.

Радіоактивні частинки, що утворюються при наземному ядерному вибуху – це сплавлені силікати, тобто основа ґрунту. Вони містять радіоактивні матеріали, які є джерелами іонізуючого випромінювання [21, 22].

Загалом, ланцюжки розпаду уламків ділення ядерного пального формують елементи з масовими номерами 89 - 93, 95, 97, 99, 103, 105, 106, 125, 131 - 133, 135, 137, 140, 141, 143, 144, 147, 149 та 151. Радіонукліди, що належать саме цим ланцюжкам розпаду, вносять найбільший вклад в активність суміші уламків ділення ядерного пального з періодом розпаду від 1 доби до 10^{11} років після ядерного вибуху [21, 22].

Місцевість, що підпала під радіоактивне забруднення, як наслідок застосування ядерної зброї, прийнято ділити на зони. Їхні індекси та характеристики подано в Табл. 10 [15, 16].

Таблиця 10. Характеристики зон радіоактивного забруднення

Індекс зони	Характеристика зони	Доза опромінення за 2 тижні перебування в зоні після ядерного вибуху, Гр		Потужність дози випромінювання на зовнішній межі зони, мГр/год	
		На внутрішній межі зони	На зовнішній межі зони	Через 1 год після вибуху	Через 10 год після вибуху
А	Зона помірного забруднення	4	0,4	80	5
Б	Зона сильного забруднення	12	4	800	50
В	Зона небезпечного забруднення	40	12	2400	150
Г	Зона дуже небезпечного забруднення	–	40	8000	500

Схему зонування території, що підпала під радіоактивне забруднення як наслідок застосування ядерної зброї подано на рис. 1.

На особливий період застосовують певні норми радіаційної безпеки, встановлені для особового складу військ, що діють в умовах воєнного

стану. Вони включають такі норми: щодо одnorазового зовнішнього опромінення – 0,5 Гр; за 1 міс – 1,0 Гр; за 3 міс – 2,0 Гр; за 1 рік – 3,0 Гр. При цьому встановлено, що втрати боєздатності починаються при отриманні особовим складом дози в 1,0 Гр і більше [15].

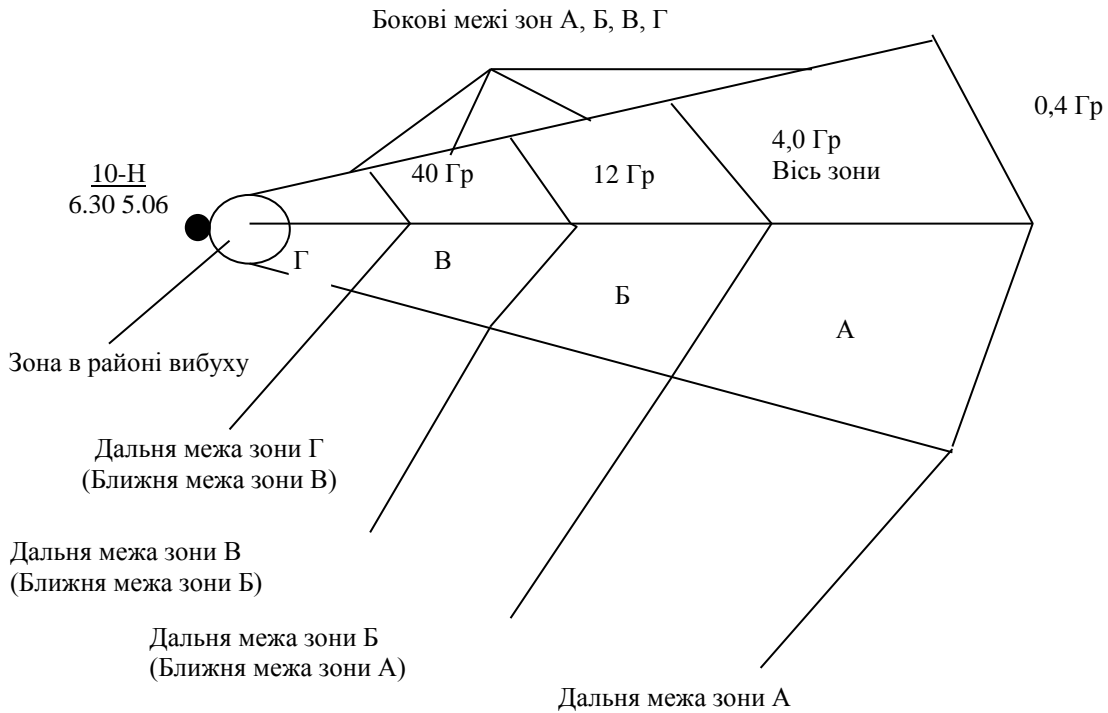


Рис. 1. Схема зонування території, що підпала під РЗ як наслідок застосування ядерної зброї.

Таблиця 11. Ліміти доз опромінення, мЗв/рік (рад/рік)

Назва параметра	Категорія осіб, які зазнали опромінювання		
	А	Б	В
Ліміт ефективної дози	20 (2)	2 (0,2)	1 (0,1)
Ліміт еквівалентної дози:			
для кристалика ока	150 (15)	15 (1,5)	15 (1,5)
для шкіри	500 (50)	50 (5)	50 (5)
для кистей та стоп	500 (50)	50 (5)	–

Для населення (категорія В) та персоналу об'єктів ядерно-паливного циклу (категорії А і Б) в умовах мирного часу діють нормативно визначені ліміти доз опромінення, значення яких подано в Табл. 11 [23].

Формування зон забруднення залежить від характеру дрейфу радіонуклідів у повітряних потоках поза межами району застосування боєприпасу та осідання їх на поверхню. У свою чергу дрейф радіоактивних речовин та розміри зон радіоактивного забруднення залежать від потужності ядерного вибуху, ступеня стійкості атмосфери та швидкості вітру.

Ділянка забруднення, утворена вибухом тактичного ядерного боєприпасу, включає район вибуху і зони розповсюдження радіоактивних речовин над місцевістю: за напрямком дії вітру – підвітряну та проти вітру – навітряну зони.

Потужності доз радіоактивного випромінювання в навітряній зоні забруднення залежно від виду та потужності ядерного вибуху подано в Табл. 12.

Розміри навітряної зони не залежать від сили вітру, а за формою вона зазвичай приймається за

коло з центром в епіцентрі ядерного вибуху [15, 16].

Від епіцентра ядерного вибуху за напрямком дії середнього вітру формується зона радіоактивного забруднення місцевості, яка характеризується довжиною та максимальною шириною. Максимальна ширина визначається в точці на відстані 2/3 довжини від епіцентра ядерного вибуху. Вказану зону за рівнями радіоактивного випромінювання та поглиненої дози індексують відповідно до параметрів Табл. 10.

Розміри зон радіоактивного забруднення місцевості по осі сліду руху хмари для різних потужностей ядерного вибуху подано в Табл. 13 [15, 16].

Розміри зони забруднення при вибуху тактичного ядерного заряду боєприпасу, в якій буде спостерігатися найбільш тяжкий вплив на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури, при відкритому знаходженні їх на місцевості, залежно від потужності та типу вибуху може становити від 1400 до 2600 м. А зона, в якій необхідно проводити першочергову негайну евакуацію населення може сягнути від 3,4 до 44,0 км за напрямком вітру.

Таблиця 12. Потужності доз радіоактивного випромінювання в навітряній зоні радіоактивного забруднення, наведені на 1 год після вибуху, Гр/год

Радіус зони ураження при ядерному вибуху, м	Потужність ядерного вибуху (q), кт							
	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,0	10,0
Наземний вибух								
50	1,25	2,60	6,35	1,27	9,7	34,8	41,7	52,2
100	0,25	0,52	1,25	2,5	5,05	12,6	53,1	11,0
200	0,04	0,08	0,20	0,40	0,79	2,00	2,92	3,95
300	0,011	0,022	0,056	0,11	0,22	0,56	0,78	1,10
400	–	0,010	0,020	0,039	0,079	0,20	0,28	0,40
Повітряний вибух								
50	0,86	1,60	3,40	5,65	8,90	21,9	62,5	11,11
100	0,19	0,37	0,87	1,65	2,95	6,05	7,55	9,70
200	0,031	0,061	0,15	0,29	0,57	1,30	1,80	2,40
300	0,010	0,017	0,043	0,084	0,17	0,40	0,55	0,76
400	–	–	0,015	0,03	0,06	0,15	0,20	0,28

Таблиця 13. Розміри зон радіоактивного забруднення по осі сліду руху хмари ядерного вибуху, км (довжина - максимальна ширина)

Потужність ядерного вибуху (q), кт	Швидкість середнього вітру, км/год	Зони забруднення				Потужність дози через 1 год на зовнішній межі зони, мГр/год
		А	Б	В	Г	
Наземний вибух						
0,1	10	3,4 - 3,7	–	–	–	–
	25	4,5 - 2,5	–	–	–	
0,2	10	4,8 - 4,4	1,2 - 1,1	–	–	–
	25	6,3 - 3,3	–	–	–	
0,5	10	7,4 - 4,7	2,2 - 2,4	–	–	–
	25	9,8 - 4,3	2,2 - 1,1	–	–	
1,0	10	10,0 - 8,0	3,3 - 3,4	1,4 - 1,2	–	477 - 41
	25	14,0 - 5,7	3,7 - 1,9	–	–	
2,0	10	14,0 - 9,3	4,8 - 4,5	2,4 - 2,3	–	593 - 48
	25	19,0 - 6,9	5,5 - 2,7	1,8 - 0,5	–	
5,0	10	23,0 - 12,0	8,0 - 6,0	4,2 - 3,7	1,4 - 0,9	793 - 58
	25	31,0 - 8,8	9,4 - 3,8	4,2 - 1,8	–	
7,0	10	27 - 13,5	10,0 - 6,7	5,2 - 4,3	2,0 - 1,4	882 - 65
	25	37,5 - 9,8	13,3 - 4,3	5,4 - 2,3	2,3 - 1,8	
10,0	10	32,5 - 15,0	12,0 - 7,5	6,3 - 4,8	2,6 - 2,0	987 - 75
	25	44,0 - 11,0	14,0 - 4,8	6,6 - 2,7	2,6 - 2,0	
Повітряний вибух						
0,1	10	1,7 - 1,5	Не формуються			–
	25	1,8 - 0,7				
0,2	10	2,4 - 2,3				–
	25	2,8 - 1,3				
0,5	10	3,6 - 3,4				–
	25	4,6 - 2,1				
1,0	10	5,0 - 4,2				–
	25	6,3 - 2,7				
2,0	10	6,8 - 5,2				–
	25	8,8 - 3,5				
5,0	10	11,0 - 6,6				548 - 46
	25	14,0 - 4,5				
7,0	10	13,0 - 6,0				634 - 49
	25	17,0 - 5,0				
10,0	10	15,0 - 7,9				549 - 46
	25	20,0 - 5,5				

Окремо, як правило, виділяють розміри зони радіоактивного забруднення з потужністю дози 10 мГр/год [13]. Перебування на зовнішній межі цієї зони протягом 2 год призводить до досягнення гранично допустимої дози зовнішнього опромінення, встановленої для персоналу об'єктів ядерно-паливного циклу категорії А, а саме 0,02 Гр (див. Табл. 11).

Зауважимо, що допустимою нормою радіаційного фону, встановленою вимогами «Норм радіаційної безпеки України», для безумовно виправданого рівня втручання і рівня дії відносно населення є значення не більше 10,8 мкГр/год (3 нГр/с) [23].

Зона з потужністю дози в 10 мГр/год та нижче кваліфікується, як зона дальнього розповсюдження радіоактивних речовин. Її площа може становити до 1000 км² [21, 23]. Вона формується завдяки дрейфу та випадінню на поверхню радіоактивних частинок розмірами 1 - 2 мкм, які осідають та випадають на поверхні протягом 2 - 3 тижнів після вибуху. Форма площі буде

визначатися змінами вектора дії середнього вітру в цей час. Цілком ймовірно, що район можливого радіоактивного забруднення може розповсюдитися по площі, прийнятій у формі кола з радіусом до 100 км і більше. У цій зоні буде можливо спостерігати ділянки з дещо підвищеним рівнем радіації [11, 23, 24]. Одним із методів встановлення розмірів та координат дальньої зони радіоактивного забруднення є організація військового чи загальнодержавного радіаційного спостереження, яке повинно охоплювати великі регіони всієї держави. При фіксації факту застосування супротивником ядерної зброї на територіях, які знаходяться в районі ядерного вибуху, необхідно здійснювати додаткове проведення радіаційної розвідки для уточнення координат та характеристик зони забруднення на місцевості [18, 25, 26].

Заходи первинного радіаційного захисту населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури відповідно до індексації зон забруднення подано в Табл. 14 [16, 19].

Таблиця 14. Заходи первинного радіаційного захисту від наслідків застосування тактичного ядерного боєприпасу

Індекс зони	Характеристика зони	Зміст заходу радіаційного захисту при знаходженні в зоні забруднення
А	Зона помірного забруднення	Заборона на проведення робіт у зоні на відкритій місцевості під час початку формування зони (проходження хмари ядерного викиду) та протягом декількох годин після її проходження
Б	Зона сильного забруднення	Заборона на проведення робіт у зоні на відкритій місцевості. Після формування зони населення підлягає евакуації. Персонал об'єктів критичної інфраструктури може виконувати завдання при прийнятті заходів радіаційного захисту
В	Зона небезпечного забруднення	Заборона на проведення робіт у зоні. Негайна евакуація населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури після спаду рівня радіації до певних безпечних значень
Г	Зона дуже небезпечного забруднення	Негайна евакуація населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури після спаду рівня радіації до певних безпечних значень

Загалом, є очевидним, що, після нанесення ядерного удару тактичним ядерним боєприпасом з території, що зазнала впливу факторів ураження, населення має бути евакуйоване. Що стосується персоналу об'єктів критичної інфраструктури, то рішення про його виведення у безпечний район визначається необхідністю функціонування вказаних об'єктів в умовах, що склалися після удару.

Заходи евакуації населення та процес виконання функціональних обов'язків персоналом безпосередньо пов'язані з часом та величиною допустимої дози опромінювання за час виконання обов'язків за призначенням, який буде визначати значення поглиненої дози опромінення.

Значення поглиненої дози опромінення буде формуватися як від забрудненої території, так і

від хмари ядерного вибуху, яка під дією вітру дрейфує над заданою точкою місцевості, та визначається часом початку опромінення та часом перебування в зоні радіоактивного забруднення. Під часом початку опромінення приймається початок руху хмари ядерного вибуху над заданою точкою або час виходу населення та персоналу на відкриту радіоактивно забруднену місцевість із захищених сховищ.

Можливі дози радіоактивного опромінення за проміжки часу, в які найбільш ймовірно будуть проводитися заходи евакуації населення відповідно до часу початку опромінення, подано у Табл. 15 [15, 16]. Аналіз поданих у таблиці даних показує, що, за наявності захищених сховищ, варіюванням часом початку опромінення можна забезпечити додержання певних норм забезпе-

Таблиця 15. Поглинена доза радіоактивного випромінювання, що може бути отримана населенням при відкритому знаходженні на місцевості всередині зони радіоактивного забруднення, Гр

Зона радіоактивного забруднення	Час початку опромінення з моменту ядерного вибуху, хв	Тривалість перебування в зоні радіоактивного забруднення, год			
		0,5	1,0	2	5
		Поглинена доза, Гр			
А	30	0,19	0,28	0,40	0,55
	60	0,097	0,16	0,25	0,38
	90	0,064	0,11	0,18	0,29
Б	30	1,04	1,59	2,21	3,06
	60	0,55	0,91	1,38	2,11
	90	0,36	0,63	1,01	1,64
	4 год	0,12	0,23	0,41	0,79
В	30	3,30	5,00	7,00	9,60
	60	1,70	2,80	4,30	6,60
	90	1,10	2,00	3,20	5,20
	10 год	0,13	0,25	0,50	1,10
Г	30	10,40	15,90	22,10	30,60
	60	5,50	9,10	13,80	21,10
	90	3,60	6,30	10,10	16,40
	1 доба	0,15	0,30	0,60	1,40

чення радіаційного захисту населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури в умовах впливу наслідків застосування ядерної зброї.

При знаходженні всередині зони Б вихід на відкриту місцевість із захищених сховищ необхідно здійснити через 4 год після часу формування зони. При цьому евакуаційні заходи повинні закінчитися за 2 год, що забезпечить одержання населенням та персоналом дози опромінення не більше 0,41 Гр.

Для зони В за тих же умов одержана поглинена доза опромінення буде нижчою за порогове значення, а вихід зі сховищ треба почати через 10 год з моменту формування зони забруднення.

Якщо люди знаходяться в зоні Г, то час початку опромінення становитиме більше 1 доби. При цьому вихід населення чи персоналу через 1 добу із захищених сховищ місцевості з характеристиками радіаційного забруднення зони Г, та подальша евакуація їх має тривати впродовж не більш 2 год, що забезпечить отримання поглиненої дози до 0,6 Зв.

3. Обговорення результатів дослідження

Виходячи з вищенаведених результатів, проведемо оцінку впливу наслідків можливого застосування тактичної ядерної зброї на об'єкти критичної інфраструктури, будівлі та споруди житлового та господарського сектору, а також населення і персонал підприємств.

Припустимо, що противник наносить наземний ядерний удар тактичним зарядом в 1 кт по об'єкту оборонного сектору. При цьому слід очікувати такі наслідки.

Під дією повітряної ударної хвилі повне ураження об'єктів і споруд та знищення населення і

персоналу буде спостерігатися в колі радіусом 400 м. У секторах до 1500 м буде спостерігатися легке ураження об'єктів. Персонал об'єкта та населення отримають ураження, які можна кваліфікувати як ураження середнього ступеня.

Тривалість світлового випромінювання становитиме до 1 с. При цьому зона суцільних пожеж та тяжкого ураження об'єктів і споруд та незахищеного населення буде спостерігатися в радіусі до 400 м. На відстані від епіцентра ядерного вибуху до 950 м виникнуть окремі пожежі будівель та легке ураження населення.

Проникаюча радіація ядерного вибуху в зоні радіусом до 850 м може забезпечити населенню і персоналу, які знаходяться відкрито на місцевості, дози, що відповідають IV ступеню променевої хвороби.

Радіоактивне забруднення у районі вибуху з навітряної сторони буде небезпечним для людей, які знаходяться на відкритій місцевості на відстані до 200 м від епіцентра ядерного вибуху та на відстані до 14 км по сліду руху радіоактивної хмари. При цьому, на відстані до 1,4 км буде спостерігатися сильне радіаційне забруднення місцевості, яке вимагатиме знаходження персоналу та населення у протирадіаційних укриттях з коефіцієнтом ослаблення до 5 одиниць на час до 10 год після формування зони забруднення. Це забезпечить додержання критерію неперевищення критичного значення поглиненої дози радіоактивного опромінення в 0,6 Зв при проведенні евакуаційних заходів впродовж не більше, ніж за 2 год.

На відстанях від 1,4 до 3,3 км населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури можуть розпочати евакуаційні заходи на відкритій

місцевості через 4 год після початку опромінення. Отримані розрахункові дані в цілому відповідають певним оцінкам, наведеним у [13, 14].

Оцінка наслідків застосування тактичного ядерного боєприпасу потужністю 1,0 кт, проілюстрована на рис. 2.

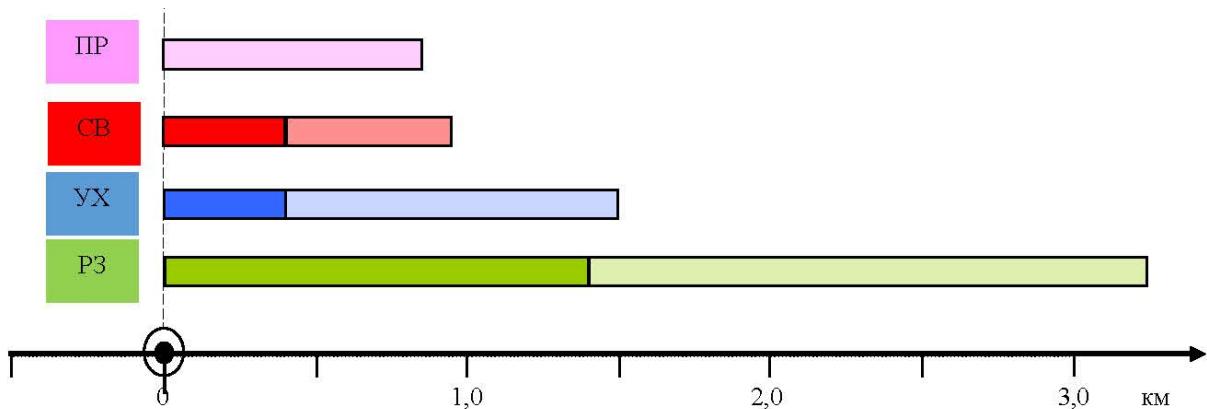


Рис. 2. Наслідки ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу при $q = 1,0$ кт. Вид вибуху – наземний. ПР – проникаюча радіація, СВ – світлове випромінювання, УХ – ударна хвиля, РЗ – радіоактивне забруднення. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

При ядерному вибуху такої потужності вплив повітряної ударної хвилі, яка може призвести до легких уражень споруд та населення, буде спостерігатися на відстанях до 3 км і більше за напрямком дії середнього вітру. Світлове випромінювання створить зону суцільних пожеж та уразить населення і персонал, що знаходиться відкрито на місцевості на відстанях до 800 м, а пожежі та легке ураження будуть спостерігатися на відстані до 2 км від епіцентра вибуху. Проникаюча радіація нанесе тяжкі ураження населенню та персоналу на відстані близько 1250 м від епі-

центра. А радіоактивне забруднення розповсюдиться за напрямком вітру на відстань до 16 км. При цьому розмір зони, в якій виникне потреба в укритті населення та персоналу у сховищах протягом доби від початку опромінення (зона Г), досягатиме 2,6 км. А зона, що буде потребувати укриття населення та персоналу на термін більше 10 год (зона Б) від початку опромінення, сягатиме 6,6 км.

Ілюстрація формування уражаючих факторів відповідно до вищенаведеної інформації подана на рис. 3.

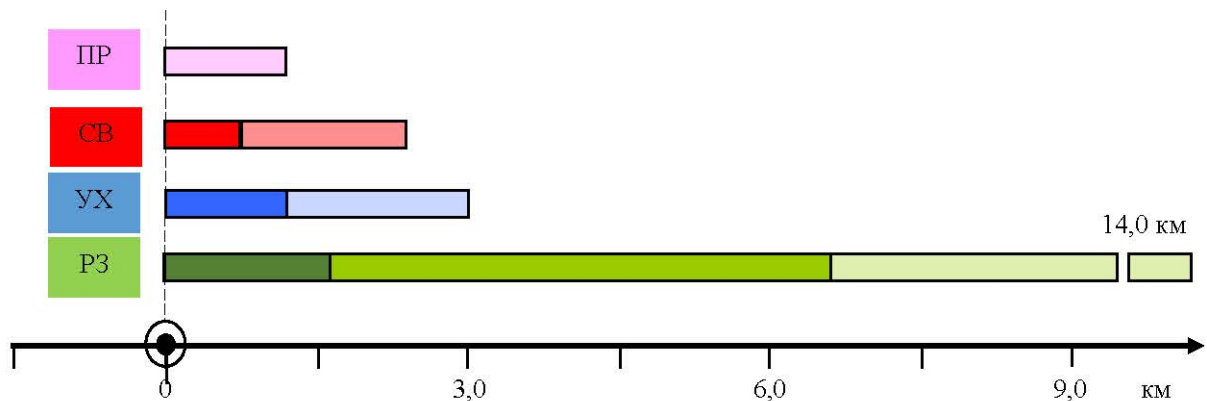


Рис. 3. Наслідки ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу при $q = 10,0$ кт. ПР – проникаюча радіація, СВ – світлове випромінювання, УХ – ударна хвиля, РЗ – радіоактивне забруднення. Вид вибуху – наземний. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Наведена інформація підтверджує загальновідому сентенцію, що основними уражаючими факторами вибуху тактичного ядерного боєприпасу є проникаюча радіація і радіоактивне забруднення місцевості. Відповідно, аналіз усіх небезпек застосування такого типу ядерної зброї та заходи, спрямовані на мінімізацію впливу його наслідків, у першу чергу повинні бути спрямовані на заходи радіаційного захисту.

4. Висновки

У статті проведено аналіз процесу формування зон негативного впливу уражаючих факторів ядерного вибуху тактичного ядерного боєприпасу на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури в районі вибуху і по сліду руху радіоактивної хмари та встановлено їхні кількісні характеристики.

1. Наведено дані розрахунків щодо параметрів зон дії повітряної ударної хвилі, потоку проникаючої радіації, променевого потоку енергії світлового імпульсу та розміри зони радіоактивного забруднення місцевості, які можуть негативно впливати на населення, житлові будівлі, персонал та споруди об'єктів критичної інфраструктури в районі застосування тактичної ядерної зброї.

2. Показано, що зона ураження повітряною ударною хвилею, залежно від виду вибуху тактичного ядерного боєприпасу та його потужності може досягати радіуса до 3100 м. При цьому зона повного ураження об'єктів та населення може мати місце в радіусі від 200 до 860 м від епіцентра ядерного вибуху.

3. Негативний вплив світлового імпульсу на населення та персонал, що знаходяться відкрито на місцевості, буде спостерігатися на відстані від 440 до 3700 м від епіцентра ядерного вибуху залежно від потужності тактичного ядерного боєприпасу та виду вибуху. На відстані від 170 до 1500 м ураження будуть найтяжчими, а відстані, на яких можуть виникнути найбільш тяжкі наслідки впливу світлового випромінювання ядерного вибуху, можуть сягати від 120 до 900 м від епіцентра ядерного вибуху. Повітряний ядерний вибух формує світловий імпульс, який у середньому на 50 % і більше переважає світловий імпульс наземного ядерного вибуху на тих же самих відстанях.

4. Вплив проникаючої радіації ядерного вибуху на населення та персонал об'єктів критичної інфраструктури буде спостерігатися на відстанях від 560 до 1300 м залежно від типу вибуху та потужності тактичного ядерного боєприпасу. Поміщення населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури в будівлях, спорудах чи спеціально створених захищених сховищах може знизити вплив проникаючої радіації від 10 до 500 разів і більше.

5. Розміри зони радіоактивного забруднення при вибуху тактичного ядерного боєприпасу, в якій буде спостерігатися найбільш важкий ступінь ураження населення та персоналу об'єктів критичної інфраструктури, при відкритому розташуванні їх на місцевості, залежно від потужності та типу вибуху можуть сягати від 1400 до 2600 м. А зона, в якій необхідно проводити першочергову негайну евакуацію населення, може становити від 3,4 до 44,0 км за напрямком дії середнього вітру.

Масштаби радіаційного забруднення місцевості, в межах яких формуються показники радіаційного впливу на населення, можуть бути достатньо великими, охоплювати великі території суміжних з районом застосування тактичної ядерної зброї регіонами держави. Встановлення їх кордонів можливо в режимі реального часу за даними радіаційної розвідки та радіаційного спостереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. РНБО випустила інструкцію як діяти у випадку ядерної атаки.
2. Effects of Nuclear Explosions. [Wikipedia](#).
3. О. Іжак. Ядерний шантаж Росії: До чого готовий Путін і що потрібно знати Україні. *Дзеркало тижня* 28 квітня 2022 р.
4. М.І. Стеблюк. *Цивільна оборона та цивільний захист*. Підручник. 3-тє вид. (К.: Знання, 2013) 487 с.
5. П.С. Трофименко та ін. *Тактична підготовка артилерійських підрозділів*. Підручник (Суми: Сумський державний університет, 2012) 778 с.
6. R.P. Turco. Recent Assessments of the Environmental Consequences of Nuclear War. In: *The Medical Implications of Nuclear War*. F. Solomon, R.Q. Marston (Eds.) (Washington: National Academies Press, 1986).
7. Report of the Defense Science Board Task Force on Nuclear Weapon Effects Test, Evaluation, and Simulation (Washington: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics, 2005) 122 p.
8. М.М. Сакун та ін. *Цивільний захист* (Кам'янець-Подільський: Медобори-2006, 2015) 480 с.
9. А. Калигаев, Г. Живетьев, Э. Желудков. *Защита от оружия массового поражения* (Москва: Воениздат, 1989) 398 с.
10. Е.С. Колибернов, В.И. Корнев, А.А. Сосков. *Справочник офицера инженерных войск* (Москва: Воениздат, 1989) 432 с.
11. M. McKinzie et al. Calculating the Effects of a Nuclear Explosion at a European Military Base. In: *Vienna Conference on the Humanitarian Impact of Nuclear Weapons*, Vienna, Dec. 8 - 9, 2014 (Vienna, 2014.) 43 p.
12. D. Kundu et al. Radiological consequence assessment for hypothetical nuclear explosion scenario using HotSpot. *Progress in Nuclear Energy* 147 (2022) 104192.
13. NUKEMAP by Alex Wellerstein.
14. Реагування на ядерний вибух. Навчальний курс. LLNL-MI-845899. Міністерство енергетики США, Ліверморська національна лабораторія ім. Е. Лоуренса.
15. О.Є. Левченко. *Оцінка радіаційної і хімічної обстановки* (К.: Чалчинська, 2014) 256 с.
16. О.П. Депутат, І.В. Коваленко, І.С. Мужик. *Цивільна оборона*. Підручник. В.С. Франчук (ред.) 2-ге вид. (Львів: Афіша, 2001) 336 с.
17. Г.Г. Клекоць, Г.І. Туровська. Методичні вказівки до виконання практичної роботи на тему: «Характеристика осередків ураження, які виникають при аваріях на АЕС, хімічних та вибухонебез-

- печних об'єктах і при застосуванні сучасної зброї» (Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2011) 36 с.
18. І. Ю. Чернявський, В.В. Марущенко, І.М. Мартинюк. *Військова дозиметрія*. Навч. посібник (Харків: ФВП НТУ «ХП», 2011) 528 с.
 19. О.Є. Левченко. *Військова токсикологія, радіологія, медичний захист*. Підручник (К.: Чалчинська, 2017) 788 с.
 20. Ядерна зброя. Характеристика опіків від світлового випромінювання ядерного вибуху.
 21. М.А. Умаров, О.И. Артемьев. Радиоактивные выпадения от атмосферных ядерных испытаний. Вестник НЯЦ РК «Радиоэкология. Охрана окружающей среды» 3 (2021) 20.
 22. А.В. Быховский. *Радиоактивные частицы в атмосфере* (Москва: Госатомиздат, 1983) 220 с.
 23. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)». ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Постанова Головного державного санітарного лікаря № 62 від 01.12.97.
 24. Н.Л. Бызова, К.П. Махонько. *Метеорология и атомная энергия*. Пер. с англ. (Ленинград: Гидрометеиздат, 1971) 647 с.
 25. Ю.А. Израэль и др. *Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования* (Ленинград: Гидрометеиздат, 1970) 67 с.
 26. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. No. GSR Part 3* (Vienna: IAEA, 2014) 471 p.

**O. L. Turovsky^{1,*}, E. V. Havrylko², O. M. Pankratov¹, L. A. Ustinova³,
B. D. Khalmuradov¹, V. L. Bohaienko³**

¹ National Aviation University, Kyiv, Ukraine

² National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Kyiv, Ukraine

³ Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: s19641011@ukr.net

ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF THE USE OF TACTICAL NUCLEAR WEAPONS ON THE POPULATION AND INFRASTRUCTURE IN THE REGIONS OF A NUCLEAR EXPLOSION

The article analyzes the process of formation and establishes the characteristics of the striking factors of a nuclear explosion of tactical nuclear ammunition with a power of 0.1 to 10 kt when damaging military facilities and the accompanying damage to the population of civilian communities and personnel of infrastructure facilities. Calculated are data on the parameters of air shock wave action zones, penetrating radiation flow, light pulse energy beam flow, and the dimensions of the zone of radioactive contamination of the area, which can create a negative impact on the population, residential buildings, personnel, and critical infrastructure facilities in the area of application of tactical nuclear weapons. It is shown that the zone affected by an air shock wave, depending on the type of explosion of tactical nuclear ammunition and its power, can reach a radius of up to 3100 m. Dangerous light pulse damage to the population and personnel located in the open area will be observed at a distance of 440 to 3700 m from the epicenter of the nuclear explosion. The negative impact of the penetrating radiation of a nuclear explosion on the population and personnel of critical infrastructure facilities will be observed at distances from 560 to 1300 m, depending on the type of explosion and the power of the tactical nuclear ammunition. The dimensions of the zone of radioactive contamination, in the case of the explosion of tactical nuclear ammunition, in which the most severe degree of radiation damage to the population and personnel of critical infrastructure objects will be observed, with their open location in the area, depending on the power and type of explosion, can reach from 1400 to 2600 m. And the zone in which it is necessary to carry out the priority immediate evacuation of the population can be from 3.4 to 44.0 km in the direction of the average wind. It was determined that the scale of radioactive contamination of the area will have the greatest values of the size of the areas of negative impact relative to other types of impressive factors of the nuclear explosion of tactical nuclear ammunition. In large areas of the regions adjacent to the area of application of the specified ammunition, a significant negative radiation effect will be created, which will require measures of radiation protection and evacuation of the population.

Keywords: nuclear weapons, nuclear explosion, striking factors of a nuclear explosion.

REFERENCES

1. The National Security Council issued instructions on how to act in the event of a nuclear attack.
2. Effects of nuclear explosions. Wikipedia.
3. A. Izhak. Nuclear blackmail of Russia: What Putin is ready for and what Ukraine needs to know. *Dzerkalo Tyzhnya* April 28, 2022. (Ukr)
4. M.I. Steblyuk. *Civil Defense and Civil Protection*. Textbook. 3rd ed. (Kyiv: Znannia, 2013) 487 p. (Ukr)
5. P.Ye. Trofymenko et al. *Tactical Training of Artillery Units*. Textbook (Sumy: Sumy State University, 2012) 778 p. (Ukr)
6. R.P. Turco. Recent Assessments of the Environmental Consequences of Nuclear War. In: *The Medical Implications of Nuclear War*. F. Solomon, R.Q. Marston (Eds.) (Washington: National Academies Press, 1986).

7. Report of the Defense Science Board Task Force on Nuclear Weapon Effects Test, Evaluation, and Simulation (Washington: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics, 2005) 122 p.
8. M.M. Sakun et al. *Civil Defense* (Kamyanets-Podilskyi: Medobory-2006, 2015) 480 p. (Ukr)
9. A. Kalitayev, G. Zhivetiev, E. Zheludkov. *Protection Against Weapons of Mass Destruction* (Moskva: Voenizdat, 1989) 398 p. (Rus)
10. E.S. Kolibernov, V.I. Kornev, A.A. Soskov. *Reference Book of an Officer of Engineering Troops* (Moskva: Voenizdat, 1989) 432 p. (Rus)
11. M. McKinzie et al. Calculating the Effects of a Nuclear Explosion at a European Military Base. In: *Vienna Conference on the Humanitarian Impact of Nuclear Weapons, Vienna, Dec. 8 - 9, 2014* (Vienna, 2014.) 43 p.
12. D. Kundu et al. Radiological consequence assessment for hypothetical nuclear explosion scenario using HotSpot. *Progress in Nuclear Energy* 147 (2022) 104192.
13. NUKEMAP by Alex Wellerstein.
14. *Reacting to a Nuclear Explosion. Educational course*. LLNL-MI-845899. US Department of Energy, Lawrence Livermore National Laboratory. (Ukr)
15. O.Ye. Levchenko. *Assessment of the Radiation and Chemical Situation* (Kyiv: Chalchynska, 2014) 256 p. (Ukr)
16. O.P. Deputat, I.V. Kovalenko, I.S. Muzhyk. *Civil Defense*. Textbook. V.S. Franchuk (Ed.) 2nd ed. (Lviv: Afisha, 2001) 336 p. (Ukr)
17. H.G. Klekots, G.I. Turovska. Methodical instructions for performing practical work on the topic: "Characteristics of lesions that occur during accidents at nuclear power plants, chemical and explosive objects and during using modern weapons" (Rivne: National University of Water Management and Nature Conservation, 2011) 36 p. (Ukr)
18. I.Yu. Chernyavskiy, V.V. Marushchenko, I.M. Martyniuk. *Military Dosimetry*. Tutorial (Kharkiv: National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2011) 528 p. (Ukr)
19. O.Ye. Levchenko. *Military Toxicology, Radiology, Medical Protection*. Textbook (Kyiv: Chalchynska, 2017) 788 p. (Ukr)
20. Nuclear Weapon. Characteristics of burns from the light radiation of a nuclear explosion. (Ukr)
21. M.A. Umarov, O.I. Artemyev. Radioactive fallout from atmospheric nuclear tests. *Vestnik of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan "Radioekologiya. Okhrana Okruzhayushchey Sredy"* 3 (2021) 20. (Rus)
22. A.V. Bykhovsky. *Radioactive Particles in the Atmosphere* (Moskva: Gosatomizdat, 1983) 220 p. (Rus)
23. On the implementation of the State hygienic standards "Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97)". ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor No. 62 dated 01.12.97. (Ukr)
24. N.L. Byzova, K.P. Makhonko. *Meteorology and Atomic Energy*. Translation from English (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971) 647 p. (Rus)
25. Yu.A. Izrael et al. *Radioactive Contamination of Natural Environments During Underground Nuclear Explosions and Methods for its Prediction* (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970) 67 p. (Rus)
26. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. No. GSR Part 3 (Vienna: IAEA, 2014) 471 p.

Надійшла/Received 04.04.2023