

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
(ІДУ НД ЦЗ)

04074, м. Київ, вул. Вишгородська, 21, тел./факс (044) 430 91 91

Методичні рекомендації
щодо оцінювання наслідків дії небезпечних чинників аварії
на об'єктах з наявністю легкозаймистих та горючих речовин

2021

Схвалено на засіданні наукової ради ІДУ НД ЦЗ,
протокол від 21.10.2021 року № 7

Методичні рекомендації щодо оцінювання наслідків дії небезпечних чинників аварії на об'єктах з наявністю легкозаймистих та горючих речовин

I Загальні положення

Ці Методичні рекомендації призначені для кількісного оцінювання наслідків дії небезпечних чинників аварії на об'єктах, на яких обертаються легкозаймисті та горючі речовини.

Оцінювання ступеню і тяжкості наслідків аварій передбачає визначення:

- маси небезпечних речовин, що беруть участь в аварії та створенні уражальних чинників;
- максимальних розмірів вибухонебезпечних зон;
- надлишкового тиску в ударній хвилі у разі виникнення вибуху пароповітряної хмари;
- надлишкового тиску в ударній хвилі у разі виникнення вибуху ємності з перегрітою легкозаймистою рідиною, горючою рідиною в осередку пожежі;
- інтенсивності теплового випромінювання.

Ці Методичні рекомендації призначені для проведення аналізу небезпек, можливих аварій та їх наслідків на об'єктах підвищеної небезпеки (далі – ОПН), на яких можливі аварії із залповими викидами вибухонебезпечних і токсичних продуктів, вибухами й загоряннями (пожежами) в апаратурі, виробничих приміщеннях і зовнішніх спорудах, які можуть призвести до зруйнування будинків, споруд, технологічного устаткування, ураження людей, негативного впливу на довкілля з метою обмеження та контролю інцидентів для мінімізації наслідків аварії й збитків здоров'ю людини, навколишньому середовищу та майну

II Визначення термінів

Терміни, вжиті в цих Методичних рекомендаціях, та визначення позначених ними понять використано відповідно до Закону України “Про об'єкти підвищеної небезпеки” [1] та Кодексу цивільного захисту України [2].

III Аналіз безпеки виникнення аварій на об'єктах підвищеної небезпеки

Для оцінювання наслідків дії небезпечних чинників аварії проводиться аналіз безпеки об'єкта по блоках на основі фізико-хімічних властивостей речовин, що використовуються на об'єкті, апаратурного оформлення та режимів роботи обладнання.

3.1 Вихідні дані для проведення аналізу небезпек включають в себе:

- характеристику об'єкта: опис об'єкта та його навколишнього середовища; ідентифікація установок та інших видів діяльності об'єкта, які можуть становити загрозу виникнення аварії; перелік основних стадій технологічного процесу, перелік технологічних блоків, що входять до складу об'єкта;

- характеристику небезпечних речовин: перелік небезпечних речовин: ідентифікація, хімічна назва, максимальна кількість речовини, яка може бути в наявності; фізико-хімічні параметри (молекулярна маса, густина за нормальних умов, температура кипіння) та токсикологічні характеристики з позначеннями небезпек для здоров'я людини і навколишнього середовища як миттєвої, так і уповільненої дії; фізична та хімічна поведінка за нормальних умов використання або у передбачуваних аварійних умовах.

За наявності токсичної небезпеки вказується клас небезпеки речовини та гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони, характер впливу на організм людини, індивідуальні засоби захисту, заходи домедичної допомоги постраждалим, а також методи переведення (нейтралізації) речовини у безпечний стан.

3.2 Кількісна оцінка вибухонебезпечності технологічних блоків об'єкта

Розрахунок застосовується під час вибору основних заходів та технічних засобів щодо захисту об'єкту і персоналу від впливу небезпечних чинників вибуху парогазоповітряних середовищ, а також твердих і рідких хімічно нестабільних сполук, здатних вибухати [3].

Енергетичний потенціал вибухонебезпечності блоку, E (кДж), визначається повною енергією згоряння парогазової фази, що знаходиться в блоці з урахуванням величини роботи її адіабатичного розширення, а також величини енергії повного згоряння рідини, що випарувалася, з максимально можливої площі її виливу. При цьому вважається, що: а) у разі аварійної розгерметизації апарату відбувається його повне розкриття (руйнування); б) площа виливу рідини визначається виходячи з конструктивних рішень будинків або площадки зовнішньої установки; в) час випарування приймається не більшим, ніж одна година:

$$E = E'_1 + E'_2 + E''_1 + E''_2 + E''_3 + E''_4, \quad (3.1)$$

де E'_1 – сума енергій адіабатичного розширення A (кДж), і згоряння парогазової фази (далі - ПГФ), що міститься в блоці, кДж:

$$E'_1 = G'_1 \cdot q' + A, \quad (3.2)$$

де G'_1 , q' – маса (кг) і питома теплота згорання (кДж/кг) ПГФ відповідно.

За значеннями загальних енергетичних потенціалів вибухонебезпечності E визначаються величини наведеної маси та відносного енергетичного потенціалу, що характеризують вибухонебезпечність технологічних блоків.

Загальна маса горючих парів (газів) вибухонебезпечної парогазової хмари m_3 (кг), приведена до єдиної питомої енергії згоряння (46000 кДж/кг), дорівнює:

$$m_3 = \frac{E}{46000}. \quad (3.3)$$

Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпечності Q_v технологічного блоку визначається за формулою:

$$Q_v = \frac{\sqrt[3]{E}}{16,534}. \quad (3.4)$$

За значеннями відносних енергетичних потенціалів Q_v та приведеної маси парогазового середовища m_z визначається категорія технологічних блоків (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Показники категорій вибухонебезпечності технологічних блоків

Категорія вибухонебезпечності	Q_v	m_z , кг
I	> 37	> 5000
II	$27-37$	$2000-5000$
III	< 27	< 2000

3.3 Кількісне оцінювання маси легкозаймистих (горючих) рідин, що потрапляють у навколишнє середовище у разі виникнення аварійних ситуацій

Кількість речовини, що потрапила у замкнутий або вільний простір та може утворити пароповітряні вибухонебезпечні суміші або виливи горючих рідин, визначається за таких умов:

– розрахункова аварія відбувається з ємністю (резервуар, цистерна і т.д.) або трубопроводом;

– увесь вміст ємності (трубопроводу) або частина речовини потрапляє у замкнений або вільний простір;

– розрахунковий час відключення трубопроводу приймається максимальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої;

– за розрахункову температуру у разі виникнення аварії з наземним розташуванням обладнання приймається максимально можлива температура повітря у відповідній кліматичній зоні, а у разі виникнення аварії з підземним розташуванням обладнання – температура ґрунту, що умовно дорівнює максимальній середньомісячній температурі навколишнього повітря [4];

– тривалість випаровування рідини з поверхні виливу приймається такою, що дорівнює часу повного її випаровування, але не більше 3600 с.

Маса легкозаймистої (горючої) речовини, що надходить у разі розгерметизації наземної ємності:

$$m_a = \rho \cdot V_p, \quad (3.5)$$

де ρ - густина ЛЗР (ГР), кг/м³;

V_p – номінальний об'єм ємності (або кількість речовини, що вилілась з ємності за інших розрахункових сценаріях), м³.

Маса легкозаймистої (горючої) речовини, що самоплином надходить у разі розгерметизації трубопроводу, який виходить з ємності:

$$m_a = G_p \cdot t_{\text{розр}} + \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot (\sum_{i=1}^n L_i) \cdot \rho \quad (3.6)$$

де G_p - витрата рідини, що витікає з ємності через розгерметизований трубопровід, кг/с, та визначається за формулою:

$$G_p = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P_p}, \quad (3.7)$$

$$\Delta P_p = h_T \cdot \rho \cdot g, \quad (3.8)$$

де $t_{\text{розр}}$ – розрахунковий час відключення трубопроводів, зв'язаних з місцем розгерметизації, с;

d_T – діаметр трубопроводу, м;

L_i – довжина i -ї ділянки трубопроводу від запірного пристрою до місця розгерметизації, м;

n – число ділянок трубопроводу, зв'язаних з місцем розгерметизації;

ΔP_p – напір стовпа рідини в ємності, Па;

h_T – висота стовпа рідини (від верхнього рівня рідини у ємності до місця розгерметизації), м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Маса легкозаймистої (горючої) речовини, що надходить у навколишнє середовище внаслідок розгерметизації напірного трубопроводу:

$$m_a = G_H \cdot t_{\text{розр}} + \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot (\sum_{i=1}^n L_i) \cdot \rho \quad (3.9)$$

де G_H – продуктивність насоса, кг/с.

3.4 Розрахунок маси речовини, що бере участь у вибуху, та радіусів зон руйнування

Розрахунок дає орієнтовані значення маси речовин, що бере участь у вибуху, за таких умов і допущень:

- у розрахунках приймаються загальні наведені маси парогазових середовищ m_z та відповідні їм енергетичні потенціали E ;

- маса парогазових речовин, що бере участь у вибуху, визначається за їх вмістом у технологічній системі, блоці, апараті, та розраховується за формулою:

$$m = z \cdot m_z, \quad (3.10)$$

де z – частка наведеної маси парогазових речовин, що бере участь у процесі вибуху: для виробничих приміщень (будинків) та інших замкнених об'ємів значення z для парів легкозаймистих рідин та горючих рідин дорівнює 0,3. У загальному випадку для неорганізованих парогазових хмар у незамкненому просторі з великою масою горючих речовин частка участі у вибуху може дорівнювати $z = 0,1$. В окремих обґрунтованих випадках частка участі речовин у вибуху може бути знижена, але не менш ніж до 0,02.

- джерела загоряння, що можуть призвести до виникнення вибуху парогазової хмари, можуть бути постійними (печі, факели, не вибухозахищена електроапаратура тощо) або випадкові (тимчасові вогневі роботи, транспортні засоби тощо);

- для оцінки рівня вибуху застосовується тротиловий еквівалент вибуху парогазового середовища W_T (кг), що визначається за умовами адекватності характеру та ступеня руйнування під час вибухів парогазових хмар, та для парогазових середовищ розраховується за формулою:

$$W_T = \frac{0,4 \cdot q'}{0,9 \cdot q_T} \cdot z \cdot m, \quad (3.11)$$

де 0,4 – частка енергії вибуху парогазового середовища, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;

0,9 – частка енергії вибуху тринітротолуолу (далі - ТНТ), що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;

q – питома теплота згоряння парогазового середовища, кДж/кг;

q_T – питома енергія вибуху ТНТ, кДж/кг.

Для твердих та рідких хімічно нестабільних сполук:

$$W_T = \frac{q_k}{q_T} \cdot W_k, \quad (3.11.1)$$

де W_k – маса твердих та рідких хімічно нестабільних сполук;

q_k – питома енергія вибуху твердих та рідких хімічно нестабільних сполук.

Зона руйнування - це площа з границями, обумовленими радіусами R , центром якої є розглянутий технологічний блок або найбільш імовірне місце розгерметизації системи. Границі кожної зони характеризуються значеннями надлишкових тисків на фронті ударної хвилі ΔP . Радіус зони руйнування у загальному вигляді визначається за формулою:

$$R = K \cdot \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}}, \quad (3.12)$$

де R – відстань, м;

K – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує вплив вибуху на об'єкт та дорівнює:

3,8 – повне руйнування будинків ($\Delta P \geq 100$ кПа);

5,6 – 50% будинків повністю зруйновані ($\Delta P \approx 70$ кПа);

9,6 – будинки непридатні для мешкання ($\Delta P = 28$ кПа);

28 – помірні руйнування, ушкодження внутрішніх неміцних перегородок ($\Delta P = 14$ кПа);

56 – незначні ушкодження будинків, розбито 10% скла ($\Delta P \leq 2$ кПа).

Відповідно R_1 – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надмірний тиск на фронті ударної хвилі ($P \geq 100$ кПа); R_2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей ($P = 70$ кПа); R_3 – радіус зони середніх руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібне їх часткове розбирання, і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості ($P = 28$ кПа); R_4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних отворів, покриттів, які легко розкидаються) і важкого травмування людей на відкритій місцевості ($P = 14$ кПа); R_5 – радіус зони часткового руйнування скла, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості ($P \leq 2$ кПа).

Якщо загальна наведена маса парів $m_3 \leq 5000$ кг, радіуси зон руйнування визначаються за формулою (3.12).

Якщо $m_3 \geq 5000$ кг, то радіуси зон руйнування визначаються за формулою:

$$R = K \cdot \sqrt[3]{W_T} \quad (3.12.1)$$

Розрізняють чотири ступені руйнувань будинків і об'єктів: повне, сильне, середнє та слабке.

Результат впливу ударної хвилі на різні конструкції залежить від тиску на фронті хвилі ΔP та імпульсу I , а також від параметрів жорсткості, маси та міцності конструкцій.

За швидкості поширення полум'я, що не перевищує швидкість звуку, виникає дефлегаційне або підривне горіння, під час якого продукти згорання нагріваються до температур $1500 \dots 3000^\circ\text{C}$ і генеруються ударні хвилі з максимальним тиском $20 \dots 100$ кПа. В ударну хвилю переходить 40% енергії вибуху.

Надлишковий тиск вибуху, ΔP , для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{z,n}} \cdot \frac{100}{C_{se}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (3.13)$$

де P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкненому об'ємі, який визначається експериментально. У разі відсутності даних, допускається приймати $P_{\max} = 900$ кПа;

P_o – початковий тиск, кПа (101 кПа);

m – маса горючого газу (далі - ГГ) або парів легкозаймистих та горючих рідин (далі - ЛЗР та ГР відповідно), що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, кг;

Z – коефіцієнт участі пального у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілу газів та парів в об'ємі приміщення (таблиця 1.2).

$V_{\text{вільн}}$ – вільний об'єм приміщення, м^3 ;

$\rho_{z,n}$ – густина газу або парів за розрахункової температури t_p , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Надлишковий тиск вибуху ΔP (кПа) для індивідуальних речовин (крім тих, для яких надлишковий тиск вибуху визначається за формулою (3.13)), а також газоповітряних сумішей, у разі аварійного руйнування ємкості з урахуванням негерметичності приміщення, визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_m \cdot P_o \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (3.13.1)$$

де H_m – теплота згоряння, Дж·кг⁻¹;

P_o – початковий тиск, кПа (101 кПа);

Z – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів та парів в об’ємі приміщення (таблиця 1.2);

ρ_n – густина повітря до вибуху за початкової температури T_o , кг/м³;

C_p – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К) (допускається приймати рівною $1,01 \cdot 10^3$ Дж/кг·К);

T_o – початкова температура повітря, К.

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнта Z участі ГГ або парів ЛЗР у вибуху

Вид горючої речовини	Значення Z
Водень	1,0
ГГ (крім водню)	0,5
ЛЗР та ГР, які нагріті до температури спалаху і вище	0,3
ЛЗР та ГР, які нагріті нижче температури спалаху, за умови можливості утворення аерозолі	0,3
ЛЗР та ГР, які нагріті нижче температури спалаху, за неможливості утворення аерозолі	0

Густина газу ($\rho_{z,n}$) або парів за розрахункової температури t_p визначається за формулою:

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (3.14)$$

де M – молярна маса, кг/кмоль;

V_o – молярний об’єм, що дорівнює 22,413 м³/моль;

t_p – розрахункова температура, °С (максимально можлива температура повітря в приміщенні у відповідній кліматичній зоні або максимально можлива температура повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури під час виникнення аварійної ситуації);

C_{cm} – стехіометрична концентрація горючих газів або парів ЛЗР та ГР, % (об.), визначається за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (3.15)$$

де $\beta = n_c + \frac{n_i - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}$ – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння (під час проведення розрахунку β атоми азоту не враховуються);

n_c, n_h, n_o, n_x – число атомів вуглецю (С), водню (Н), кисню (О) та галогенів у молекулі пального;

K_n – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення та неадіабатичність процесу горіння ($K_n = 3$).

Залежність надлишкового тиску ΔP (кПа) від відстані r (м) у разі виникнення вибуху визначається за формулою:

$$\Delta P_m(r) = P_0 \cdot \left(0,8 \cdot \frac{\sqrt[3]{m_{\text{пр}}}}{r} + 3 \cdot \frac{\sqrt{m_{\text{пр}}}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{\text{пр}}}{r^3} \right) \quad (3.16)$$

де r – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м
 $m_{\text{пр}}$ – приведена маса газу або пари, кг.

$$m_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{зг}}}{Q_0} \cdot m \cdot z, \quad (3.17)$$

де Q_0 – константа, що дорівнює $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$Q_{\text{зг}}$ – питома теплота згорання газу або пари, Дж/кг;

m – маса горючих газів або пари, що надійшли в результаті аварії у навколишнє середовище, кг;

z – коефіцієнт участі горючих газів і пари у горінні: для відкритого простору дорівнює 0,1, для замкненого – 0,3.

Величина питомого імпульсу I (Па·с) визначається за формулою:

$$I(r) = 123 \cdot \frac{\sqrt[3]{m_{\text{пр}}^2}}{r}, \quad (3.18)$$

3.5 Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання у разі виникнення пожеж виливів легкозаймистих (горючих) речовин

Під час спалювання газопароповітряних хмар у дефлеграційному режимі (без утворення значного надлишкового тиску у відкритому просторі) можливе горіння виливів горючих рідин. Основними вражаючими чинниками є температурний вплив полум'я на людей, об'єкти і матеріали протягом ефективного часу експозиції.

У тих випадках, коли під час горіння змішаних газових і парових хмар перехід в детонацію неможливий, формування небезпечних ударних хвиль не відбувається, але є небезпека ураження тепловим випромінюванням і гарячими продуктами спалювання у разі їх розширення (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Залежність тяжкості травмування від величини інтенсивності теплового випромінювання

Ступінь травмування	Значення інтенсивності теплового випромінювання, кВт/м ²
Опіки III ступеня	49,0
Опіки II ступеня	27,24
Опіки I ступеня	9,6
Безпечно для людини в брезентовому одязі	4,2
Больовий поріг (больові відчуття на шкірі і слизових оболонках без негативних проявів протягом довгого часу)	1,4

Інтенсивність теплового випромінювання розраховується для двох випадків пожежі (або для того з двох випадків, що може бути реалізований у наданій технологічній установці):

а) пожежа виливів ЛЗР, ГР або горіння твердих горючих матеріалів (горіння пилу);

б) “вогняна куля” - великомасштабне дифузійне горіння, реалізоване у разі розриву ємності з горючою рідиною або газом під тиском із загоранням вмісту ємності.

У разі виникнення можливості реалізації обох випадків, то під час оцінки значень критеріїв пожежної небезпеки враховується більша з двох величин інтенсивності теплового випромінювання.

У разі порушення герметичності ємності з ЛЗР (ГР) рідина виливається у піддон або обвалування, розтікається поверхнею ґрунту або за наявності природної западини заповнює її. Глибина заповнення піддона (обвалування) h , м, визначається за формулою:

$$h = \frac{m_p}{\rho_p \cdot F_{\text{під}}}, \quad (3.19)$$

де m_p – маса розлитої рідини, кг

ρ_p – густина розлитої рідини, кг/м³

$F_{\text{під}}$ – площа піддона, м².

У разі виникнення аварії у системах, що не мають захисних огорож, відбувається розтікання рідини на ґрунті, а площа виливу $F_{\text{роз}}$, м², визначається за формулою:

$$F_{\text{роз}} = \frac{m_p}{h \cdot \rho_p}, \quad (3.20)$$

де h – товщина шару рідини, м, приймається 0,05 м.

Інтенсивність теплового випромінювання q , кВт/м², для пожежі в результаті виливу рідини розраховується за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \quad (3.21)$$

де E_f – середньповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт/м²;

F_q – кутовий коефіцієнт опромінення;

ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення E_f приймається на підставі експериментальних даних (таблиця 1.4).

За відсутності даних припускається значення E_f приймати таким, що дорівнює 100 кВт/м² для зріджених вуглеводневих газів (далі - ЗВГ) та 40 кВт/м² для нафтопродуктів та твердих матеріалів.

Таблиця 1.4 - Середньоповерхнева густина випромінювання полум'я залежно від діаметра осередку та питомої масової швидкості вигорання для деяких рідких вуглеводневих палив

Паливо	E_f , кВт/м ²					m , кг/(м ² ·с)
	d , м					
	10	20	30	40	50	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
ЗВГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельне паливо	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04

Ефективний діаметр виліву d , м, розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4F_{\text{роз}}}{\pi}}, \quad (3.22)$$

де $F_{\text{роз}}$ – площа виліву рідини, м².

Висота полум'я H , м розраховується за формулою:

$$H = 42d \left(\frac{m}{\rho_n \sqrt{gd}} \right)^{1.61}, \quad (3.23)$$

де m – питома масова швидкість вигорання палива, кг/(м²·с);

ρ_n – густина оточуючого повітря, кг/м³ (1,2047 за температури 20°C);

g – прискорення вільного падіння, що дорівнює 9,81 м/с².

Кутовий коефіцієнт опромінювання F_q визначається за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_Y^2 + F_H^2}, \quad (3.24)$$

$$F_Y = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S_1} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S_1^2 - 1}} \right) + \frac{h}{S_1} \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S_1 - 1}{S_1 + 1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S_1 - 1)}{(A-1)(S_1 + 1)}} \right) \right\} \right], \quad (3.25)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1/S_1)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S_1 - 1)}{(B-1)(S_1 + 1)}} \right) - \frac{(A-1/S_1)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S_1 - 1)}{(A-1)(S_1 + 1)}} \right) \right], \quad (3.26)$$

$$A = (h^2 + S_1^2 + 1)/2S_1; B = (1 + S^2)/(2S); S_1 = 2r/d; h = 2H/d$$

де r – відстань від геометричного центра виливу до об'єкта, що опромінюється, м;

Коефіцієнт пропускання атмосфери τ визначається за формулою:

$$\psi = \exp[-0,7 \cdot 10^{-4}(r - 0,5d)] \quad (3.27)$$

Перехід аварійної ситуації в аварію (пожежу) небезпечний не тільки своїми масштабами, але і високою імовірністю виникнення аварії “ланцюгового” характеру із залученням в аварію сусідніх блоків.

Для визначення умовної імовірності ураження людини тепловим випромінюванням розраховується ефективний час експозиції t , с, за формулою:

$$t(r) = t_0 + \frac{x}{u}, \quad (3.28)$$

де t_0 – характерний час виявлення пожежі, с (допускається 5 с);

x – відстань від місцезнаходження людини до зони, де інтенсивність теплового випромінювання не перевищує 4 кВт/м²;

u – швидкість руху людини, м/с (допускається 5 м/с).

3.6 Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання для “вогняної кулі”

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання для “вогняної кулі” проводиться за [5].

“Вогняна куля” – великомасштабне дифузійне горіння, яке реалізується у випадку розриву ємності з горючою рідиною або газом під тиском із загорянням вмісту ємності. У разі виникнення аварійного руйнування газопроводів та ємностей, виливів вуглеводнів та їх випаровування, хмара газопароповітряної суміші (далі - ГППС), що насичена паливом, не детонує, а інтенсивно горить, утворюючи вогняну кулю. Велика імовірність виникнення такого процесу обумовлена тим, що для більшості вуглеводнів концентраційні межі загорання їх ГППС ширші за межі виникнення детонації.

Уражувальна дія “вогняної кулі” визначається інтенсивністю її теплового випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання q , кВт/м² для “вогняної кулі” розраховується за формулою (3.21).

Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я E_f приймається на підставі експериментальних даних. За відсутності даних, допускається E_f приймати такою, що дорівнює 450 кВт/м².

Кутовий коефіцієнт опромінення F_q обчислюється за формулою:

$$F_q(r) = \frac{\frac{H}{D_{ef}} + 0,5}{4 \cdot \left[\left(\frac{H}{D_{ef}} + 0,5 \right)^2 + \left(\frac{r}{D_{ef}} \right)^2 \right]^{1,5}} \quad (3.29)$$

де H - висота центра “вогняної кулі”, м;

D_{ef} – ефективний діаметр “вогняної кулі”, м;

r – відстань від об’єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром “вогняної кулі”, м.

Ефективний діаметр кулі та час її існування (t_s , с) визначається за формулами:

$$D_{ef} = 5,33 \cdot m^{0,327} \quad (3.30)$$

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} \quad (3.31)$$

де m – маса горючої речовини, кг.

Величина H отримується у ході проведення досліджень і може дорівнювати $D_{ef}/2$.

Коефіцієнт пропускання атмосфери розраховується за формулою:

$$\psi = \exp \left[-7,01 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_{ef}}{2} \right) \right]. \quad (3.32)$$

Больова температурна межа для шкіри людини становить 44°C , за вищої температури ступінь ураження залежить від питомої енергії Q і тривалості опромінення. Без больових відчуттів шкіра витримує тепловий потік інтенсивністю $q = 21 \text{ кВт/м}^2$ протягом 2 секунд. За стаціонарного потоку цим даним відповідає величина імпульсу теплового випромінювання $Q = 42 \text{ кДж/м}^2$.

Імпульс теплового випромінювання визначається за формулою:

$$Q = q \cdot t_s \quad (3.33)$$

Вплив на незахищені ділянки тіла людини теплового випромінювання може викликати опіки різного ступеню. Ступінь ураження залежить від величини імпульсу теплового випромінювання (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 - Ураження людини тепловим випромінюванням

Ступінь опіку	Величина імпульсу теплового випромінювання, Q кДж/м ²	Характер ураження	Наслідки
I	100 – 200	Почервоніння та припухлість шкіри, що супроводжується больовими відчуттями. Опіки швидко гояться	Санітарні ураження. Працездатність зберігається
II	200 – 400	Утворення пухирів, наповнених рідиною	Короткочасна втрата працездатності
III	400 – 600	Повне руйнування шкірного покриву, утворення виразок.	Тривала втрата працездатності
IV	> 600	Змертвіння підшкірної клітковини, м’язів та кісток, обуглювання	Ймовірний летальний випадок

Порушення герметичності ємності, що містить рідину, нагріту до температури вище за температуру кипіння за атмосферного тиску, призводить до вибуху парів закипаючої рідини, що розширюються. Вибух відбувається за такою схемою:

- газова фаза (випаровування) починає виходити в атмосферу, тиск у ємності різко знижується;
- під час падіння тиску рідина переходить в перегрітий стан, відбувається об'ємне скипання рідини, збільшується її об'єм, виділяється велика кількість парів, значення тиску різко підвищується, що призводить до утворення ударних хвиль;
- під час кипіння разом з потоком випаровувань з ємності виносяться частинки рідини, утворюючи аерозольну хмару, в подальшому відбувається її перемішування з атмосферним повітрям, і, якщо речовина, що знаходиться в ємності, є горючою, може виникнути її загоряння з утворенням "вогняної кулі".

В процесі кипіння теплота перегрівання витрачається на пароутворення. За відсутності підведення теплоти це призведе до охолодження рідини до температури кипіння, зниження інтенсивності і, на кінець, до припинення кипіння.

Можливі три сценарії розвитку аварії посудини з перегрітою рідиною.

1) У випадку повного руйнування посудини теоретичний час випаровування $\tau_{вип}$ обчислюється виходячи з умови, що випаровування без перемішування з повітрям утворюють полу сферичну хмару радіусом $R_{нівсф}$, та випаровування, які миттєво утворюються, переміщуються від поверхні рідини до краю хмари зі швидкістю звуку у випаровуваннях $a_{напу}$. Об'єм хмари - це сума об'ємів парового викиду $V_{напу}$ та об'єму рідини, що не випарувалася V_p . Радіус півсфери розраховується з геометричних співвідношень:

$$V = V_{напу} + V_p = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R_{нівсф}^3, \quad (3.34)$$

$$R_{нівсф} = 0,78 \cdot V^{1/3}. \quad (3.35)$$

Теоретичний час випаровування дорівнює:

$$\tau_{вип} = \frac{0,78 \cdot (V - V_p)^{1/3}}{a_{напу}}. \quad (3.36)$$

У разі виникнення вибуху посудини з перегрітою рідиною 40% енергії вибуху переходить в енергію уламків, а 60% – в енергію ударної хвилі. У цьому випадку тротиловий еквівалент обчислюється за формулою:

$$W_T = 0,6 \cdot E / Q_{m \text{ сш}}. \quad (3.37)$$

де $Q_{m \text{ сш}}$ – теплота вибуху одиниці маси суміші (довідкові дані), кДж/кг.

2) У випадку перегрівання горючої рідини хмара парів може спалахнути з утворенням "вогняної кулі".

У разі порушення герметичності посудини вище рівня рідини (тріщини, корозія, втома, механічні пошкодження тощо), навіть у випадку утворення невеликого отвору, витікання парів буде продовжуватися до того часу, доки не випарується вся рідина. Зниження тиску, що залежить від швидкості витікання парів (розмірів отвору), призведе до зниження температури рідини в посудині. Швидкість витікання, що залежить від діаметра отвору, тиску та температури рідини в посудині, може бути визначена за стандартними методиками. У випадку, коли з отвору в посудині буде виходити парорідинна суміш, розрахунок швидкості витікання проводиться за формулами гідродинаміки двофазних систем.

3) Якщо в посудині знаходилася перегріта горюча рідина, то у випадку спалахування струменя утворюється струменеве полум'я або хмара парів, що може спалахнути з утворенням “вогненної кулі”.

Якщо в посудині знаходилася негорюча токсична речовина, то хмара, яка утворюється, дрейфує в залежності від метеорологічних умов.

За наявності в посудині легкозаймистої рідини (бензину, дизельного палива тощо) сценарій розвитку аварії буде залежати від виду і місця порушення герметичності посудини. У разі повного руйнування посудини та виникнення пробоїни вище рівня рідини, сценарії розвитку аварій будуть ідентичні вище описаним. У разі виникнення пробоїни нижче від рівня рідини сценарій розвитку аварії буде залежати від леткості рідини.

IV Оцінювання наслідків дії небезпечних чинників надзвичайних ситуацій на людину та навколишнє середовище

Незалежно від джерела виникнення всі надзвичайні ситуації мають однакові чинники негативного впливу на людину та навколишнє середовище:

- дія ударної хвилі у разі виникнення вибуху газоповітряних (паливоповітряних) сумішей;
- термічний вплив внаслідок виникнення пожеж;
- механічний вплив внаслідок ураження уламками у разі обвалення будинків, руйнування обладнання.

Ймовірність ураження (P_{yp}) того або іншого ступеня у разі виникнення ударної хвилі, а також отримання опіків різного ступеню внаслідок термічного впливу на людину визначається за формулою (4.1) з використанням відповідних пробіт-функцій ($P_{r(n)}$).

Величина ймовірності ураження P_{yp} виражається функцією Гаусса (функція помилок):

$$P_{yp} = f(P_r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (4.1)$$

Верхньою межею інтеграла є пробіт-функція $P_{r(n)}$, що відображає зв'язок між ймовірністю ураження P_{yp} і дозою негативного впливу X вражаючих чинників (кількість теплоти, надлишковий тиск тощо):

$$P_{r(n)} = a + b \cdot \ln X$$

де a та b – константи для кожної речовини або процесу, що характеризують специфіку і ступінь небезпеки його впливу.

4.1 Оцінювання ймовірності руйнувань промислових будинків та споруд у разі виникнення вибуху паливоповітряних сумішей

У разі виникнення вибуху парогазоповітряної хмари утворюється ударна хвиля, що характеризується надлишковим тиском ΔP (кПа) та імпульсом фази стискання I (кПа·с).

4.1.1 Ймовірність руйнування стін промислових будинків, за яких можливе їх відновлення без знесення, оцінюється за формулою:

$$P_{r1} = 5 - 0,26 \ln V_1, \quad (4.2)$$

Швидкість фронту полум'я V_1 (м/с) у даному випадку розраховується з урахуванням перепаду тиску у хвилі та імпульсу статичного тиску за співвідношенням:

$$V_1 = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3}, \quad (4.3)$$

де ΔP – надлишковий тиск ударної хвилі, Па;

I – імпульс хвилі тиску, Па·с.

$$\Delta P = P_x \cdot P_0, \quad (4.4)$$

$$I = \frac{I_x(P_0)^{2/3} E^{1/3}}{C_0},$$

де C_0 – швидкість звуку у повітрі, м/с;

P_0 – тиск у ємності, Па;

E – ефективний енергетичний запас горючої суміші, МДж;

P_x та I_x – безрозмірні величини тиску та імпульсу фази стискання, що розраховуються за формулами:

– у випадку детонації хмари газової паливоповітряної суміші:

$$P_x = \exp(-1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26(\ln(R_x))^2) \pm 10\% \quad (4.5)$$

$$I_x = \exp(-3,4217 - 0,898 \ln(R_x) - 0,0096(\ln(R_x))^2) \pm 15\% \quad (4.6)$$

де R_x – безрозмірна відстань.

Ці залежності справедливі для значень $0,2 < R_x < 24$, якщо $R_x < 0,2$, то $P_x = 18$, а для розрахунку I_x береться значення $R_x = 0,142$.

– у випадку детонації хмари гетерогенної паливоповітряної суміші:

$$P_x = \frac{0,125}{R_x} + \frac{0,137}{R_x^2} + \frac{0,023}{R_x^3} \pm 10\% \quad (4.7)$$

$$I_x = \frac{0,022}{R_x} \pm 15\% \quad (4.8)$$

Ці залежності справедливі для значень $R_x > 0,25$, якщо $R_x < 0,25$, то $P_x = 18$, а $I_x = 0,16$.

Паливоповітряна суміш вважається гетерогенною, якщо більш як 50% палива у хмарі знаходиться у вигляді крапель, в іншому випадку суміш вважається газовою.

Для обчислення повітряної ударної хвилі на заданій відстані r (м) від центру хмари у разі детонації хмари паливоповітряної суміші розраховується безрозмірна відстань R_x за формулою:

$$R_x = \frac{r}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{1/3}}, \quad (4.9)$$

Ефективний енергетичний запас горючої суміші E (Дж) визначається за співвідношенням:

$$\begin{aligned} E &= M_2 \cdot q_2 && \text{якщо } C_2 \leq C_{cm} \\ E &= M_2 \cdot q_2 \cdot C_{cm} / C_2 && \text{якщо } C_2 > C_{cm} \end{aligned} \quad (4.10)$$

де M_2 – маса горючого газу, що міститься в хмарі, кг;

C_{cm} – стехіометрична концентрація горючої речовини у паливоповітряній суміші, кг/м³;

C_2 – концентрація горючої речовини у паливоповітряній суміші, кг/м³;

q_2 – теплота згоряння горючого газу, Дж/кг (довідкові дані).

Маса горючого газу, що міститься в хмарі, визначається кількістю парів ЛЗР (ГР), що виходить через “дихальну” або розгерметизовану арматуру:

- у випадку наповнення ємності маса парів визначається за формулою:

$$m_{\Pi} = \frac{\rho_{\Pi} \cdot P_{\Pi}}{P_0 \cdot V_{\Gamma}} \quad (4.11)$$

де ρ_{Π} – густина парової фази речовини, кг/м³, визначається за формулою:

$$\rho_{\Pi} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0.00367 \cdot t_p)},$$

P_{Π} – тиск насиченої пари за розрахункової температури, кПа, що визначається за довідковими даними, або за формулами:

$$P_{\Pi} = 0,133 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{C_a + t_p}\right)},$$

де: A , B , C_a – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у мм. рт. ст.

$$P_H = 10^{\left(A - \frac{B}{C_a + t_p}\right)},$$

де: A , B , C_a – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у кПа;

t_p – розрахункова температура рідини, °С;
 P_0 – атмосферний тиск, 101 кПа;
 V_T – геометричний об'єм ємності, м³;
 M – молекулярна маса речовини, кг/кмоль;
 V_0 – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м³/кмоль;
 t_p – розрахункова температура, °С.

- під час зберігання ЛЗР (ГР) маса парів розраховується за формулою:

$$m_{\Pi} = G_{\Pi} \cdot \tau_a, \quad (4.12)$$

де G_{Π} – витрата парів, кг/с, що визначається за співвідношенням: $G_{\Pi} = F_p \cdot W$;

τ_a – час надходження парів з ємності, с;

F_p – максимальна площа поверхні випаровування з ємності, м²;

W – інтенсивність випаровування, кг/(м²·с), що визначається за співвідношенням [5]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H$$

де η – коефіцієнт, що залежить від швидкості та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування;

M – молярна маса, кг/кмоль;

P_H – тиск насиченої пари за розрахунковою температурою рідини, кПа.

- у разі випаровування рідини з виливу маса парів визначається із співвідношення:

$$m_{\Pi} = \min \left\{ \frac{0,8 \cdot m_p}{\frac{2 \cdot c_p (T_s - T_{\text{кип}})}{L_{\text{вип}}}} \right\}, \quad (4.13)$$

де $L_{\text{вип}}$ – питома теплота випаровування рідини за температури перегріву T_s , Дж/кг;

m_p – маса перегрітої рідини, що вийшла з ємності, кг;

$T_{\text{кип}}$ – нормальна температура кипіння рідини, К;

c_p – питома теплоємність рідини за температури перегріву, Дж/(кг·К);

T_s – температура перегрітої рідини в обладнанні відповідно до технологічного регламенту, К.

4.1.2 Ймовірність руйнування промислових будинків та споруд, за яких вони мають бути знесені, оцінюється за формулою:

$$P_{r2} = 5 - 0,22 \ln V_2, \quad (4.14)$$

У цьому випадку швидкість фронту полум'я V_2 , розраховується за формулою:

$$V_2 = \left(\frac{4000}{\Delta P} \right)^{7,4} + \left(\frac{460}{I} \right)^{11,3} \quad (4.15)$$

4.2 Оцінювання ймовірності ураження людей внаслідок виникнення вибуху хмари паливоповітряної суміші

4.2.1 Ймовірність тривалої втрати орієнтування людьми, які потрапили в зону дії ударної хвилі, оцінюється за формулою:

$$P_{r3} = 5 - 5,74 \ln V_3, \quad (4.16)$$

$$V_3 = \frac{4,2}{\bar{p}} + \frac{1,3}{\bar{i}} \quad (4.17)$$

де безрозмірний тиск (\bar{p}) та безрозмірний імпульс (\bar{i}) задаються виразами:

$$\bar{p} = 1 + \frac{\Delta P}{P_0}; \quad \bar{i} = \frac{I}{P_0^{1/2} m^{1/3}}$$

де m – маса тіла людини, кг.

4.2.2 Залежність ймовірності розриву барабанних перетинок у людей від рівня перепаду тиску в повітряній хвилі:

$$P_{r4} = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P, \quad (4.16)$$

4.2.3 Ймовірність відкидання людей ударною хвилею:

$$P_{r5} = 5 - 2,44 \ln V_5, \quad (4.17)$$

$$V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^3}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P \cdot I} \quad (4.18)$$

Зв'язок функції $P_{r(n)}$ з ймовірністю того або іншого ступеня ураження наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зв'язок ймовірності ураження із пробіт-функцією $P_{r(n)}$

Умовна ймовірність ураження, %	Значення величини $P_{r(n)}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,90	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
-	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,78	8,09

4.3 Оцінювання ймовірності ураження людини тепловим випромінюванням

Ступінь термічного впливу залежить від густини теплового потоку (q , кВт/м²) та тривалості теплового випромінювання.

4.3.1 Умовна ймовірність ураження людини тепловим випромінюванням визначається:

- розраховується величина P_{r6} за формулою:

$$P_{r6} = -14,9 + 2,56 \ln(t \cdot q^{1,33}) \quad (4.19)$$

де t – ефективний час експозиції, с, визначається за формулою (3.28), а для впливу “вогняної кулі” – за формулою (3.31).

- за формулою (4.1) або за допомогою таблиці 1.6 визначається умовна ймовірність ураження людини тепловим випромінюванням.

4.3.2 Ймовірність отримання опіків різного ступеня

Людина відчуває сильний біль, коли температура поверхні шкіри підвищується до 45°C. Час досягнення “порога болю” τ (с) залежить від густини теплового потоку:

$$\tau = \left(\frac{35}{q}\right)^{1,33} \quad (4.20)$$

Ймовірність отримання опіків різного ступеня внаслідок дії теплового випромінювання визначається за формулою (4.1) з використанням пробіт-функцій:

- ймовірність отримання опіків I ступеня:

$$P_{rI} = -34,8 + 3,02 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot \tau) \quad (4.21)$$

- ймовірність отримання опіків II ступеня:

$$P_{rII} = -38,1 + 3,02 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot \tau) \quad (4.22)$$

- ймовірність отримання опіків III ступеня:

$$P_{rIII} = -31,4 + 2,56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot \tau) \quad (4.23)$$

V Результати розрахунків ступеня і тяжкості наслідків визначених аварій наводяться у вигляді таблиць (додаток 1).

Результати визначення ймовірності ураження внаслідок дії небезпечних чинників надзвичайних ситуацій наводяться у вигляді залежностей (додаток 2).

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про об’єкти підвищеної небезпеки” від 18.01.2001 №2245-III (зі змінами внесеними Законом України від 15.05.2003 №762);
2. Закон України “Кодекс цивільного захисту України” від 02.10.2012 №5403-VI (із змінами, внесеними згідно із Законами №224-VII від 14.05.2013, №353-VII від 20.06.2013);
3. Дранішніков Л.В., Єсипенко А.Д., Жартовський В.М., Найверт О.В. Управління техногенною безпекою об’єктів підвищеної небезпеки. – Тернопіль: Видавництво Астон, 2005. – 408 с.
4. Постанова Кабінету Міністрів України “Про ідентифікацію та декларування безпеки об’єктів підвищеної небезпеки” від 11.07.2002 р. №956;
5. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Додаток 1
до Методичних рекомендацій щодо
оцінювання наслідків дії небезпечних
чинників аварії на об'єктах з наявністю
легкозаймистих та горючих речовин

Основні результати розрахунку можливих зон дії уражальних чинників

Таблиця 1 - Кількісна оцінка показників вибухонебезпечності

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Показник
Енергетичний потенціал вибухонебезпечності, E	кДж	
Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпечності, Q_v	-	
Загальна наведена маса горючих парів, m	кг	
Тротиловий еквівалент вибуху, W_T	кг	
R ₁ - радіус зони повного руйнування будинків і смертельної небезпеки для людей на межі якої надлишковий тиск на фронті ударної хвилі, $\Delta P \geq 100$ кПа	м	
R ₂ - радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін та смертельної небезпеки для людей, $\Delta P = 70$ кПа	м	
R ₃ - радіус зони середніх руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібне їх часткове розбирання та смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 28$ кПа	м	
R ₄ - радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних отворів, легкоскладаних конструкцій) та важкого травмування людей на відкритій місцевості, $\Delta P = 14$ кПа	м	
R ₅ - радіус зони часткового руйнування скла, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості, $\Delta P \leq 2$ кПа	м	

Таблиця 2 – Кількісна оцінка пожежі виливу

Площа виливу, м ²	Ефективний діаметр виливу, м	Висота полум'я, м	Інтенсивність теплового випромінювання q, кВт/м ²	Відстань від геометричного центра витoku до об'єкта r, м	Примітки

Продовження додатку 1
до Методичних рекомендацій щодо оцінювання наслідків дії небезпечних чинників аварії на об'єктах з наявністю легкозаймистих та горючих речовин

Таблиця 3 - Оцінка імовірності отримання людиною опіків різного ступеня у разі виникнення пожежі виливу

Ступінь опіків	Відстань до пожежі, за якої існує 100%-ва імовірність отримання опіків, м
I	
II	
III	

Таблиця 4 - Кількісна оцінка “вогняної кулі”

Діаметр “вогняної кулі”, м	Висота центра “вогняної кулі”, м	Інтенсивність теплового випромінювання, q , кВт/м ²	Відстань від геометричного центру витoku до об'єкта r , м	Примітки

Таблиця 5 - Оцінка імовірності отримання людиною опіків різного ступеня за час існування “вогняної кулі”

Ступінь опіків	Відстань до пожежі, за якої існує 100%-ва імовірність отримання опіків, м
I	
II	
III	

Таблиця 6 - Результати розрахунку ймовірності виникнення пошкоджень або руйнувань будівель внаслідок вибуху паливоповітряної хмари

№з/п	Відстань, r , м	Пробіт-функція		Ймовірність	
		P_{r1}	P_{r2}	пошкодження, %	руйнування, %

Додаток 2
до Методичних рекомендацій щодо
оцінювання наслідків дії небезпечних
чинників аварії на об'єктах з наявністю
легкозаймистих та горючих речовин

Приклад наведення результатів визначення ймовірності ураження внаслідок дії небезпечних чинників надзвичайних ситуацій

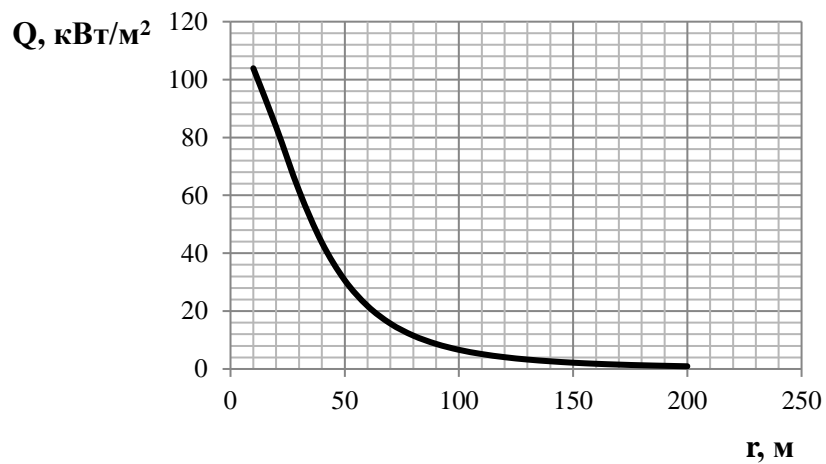


Рисунок 1.1 Залежність інтенсивності теплового випромінювання від відстані у разі загоряння паливоповітряної хмари

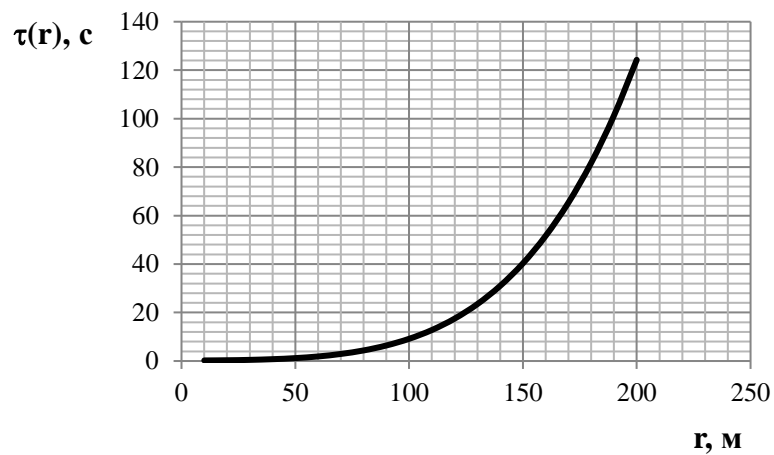


Рисунок 1.2 Залежність порогу болю від відстані

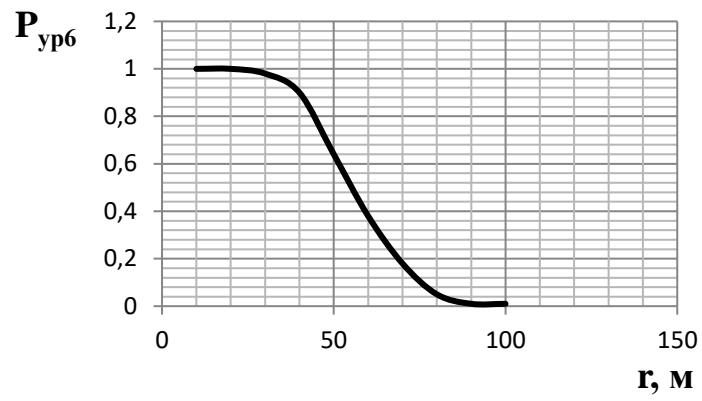


Рисунок 1.3 Залежність ймовірності ураження людини тепловим випромінюванням від відстані внаслідок загоряння паливоповітряної хмари

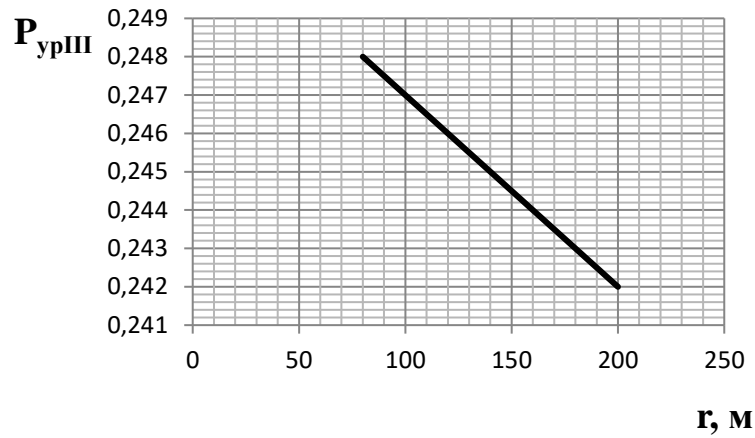


Рисунок 1.4 Залежність ймовірності отримання опіків III ступеня від відстані