

Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій
Навчально-науковий інститут пожежної та техногенної безпеки
Національний університет цивільного захисту України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри пожежної і
техногенної безпеки об'єктів та
технологій

_____ Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ

«___» _____ 2025 року

**Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній
безпеці**

Методичні вказівки до виконання модульних контрольних робіт

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр освітньо-професійної
програми «Пожежна безпека» в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю
261 «Пожежна безпека»

Черкаси 2025

Друкується за рішенням кафедри
пожежної і техногенної безпеки
об'єктів та технологій
Протокол № ____ від __.__.2025 р.

Укладачі: С.І. Головченко, О.М. Григоренко, Т.В. Костенко

Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці: Методичні вказівки до виконання модульних контрольних робіт з дисципліни «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр освітньо-професійної програми «Пожежна безпека» в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» / Укладачі: Головченко С.І. Григоренко О.М., Костенко Т.В.: НУЦЗУ, Черкаси, 2025. 40 с.

Методичні вказівки до виконання модульних контрольних робіт з дисципліни «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня бакалавр освітньо-професійної програми «Пожежна безпека» в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» розраховані для самостійного вибору та виконання модульних контрольних робіт. У методичних вказівках надані основні вимоги до виконання контрольних завдань, порядок вибору завдання та основні рекомендації до виконання контрольних робіт.

Вступ

Дисципліна «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» є вибірковою компонентою для освітньо-професійної програми «Пожежна безпека» для підготовки бакалавра в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» та забезпечує оволодіння компетентності: здатність аналізувати ризикоутворюючі фактори, розраховувати ризики та приймати рішення щодо їх зменшення.

Мета вивчення дисципліни: формування професійно-орієнтованих знань в області оцінки ризиків необхідних для отримання вмінь і навичок виконання практичних розрахунків щодо оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах та розробки обґрунтованих заходів щодо їх зменшення та управління ризиками .

Дані методичні вказівки дають можливість здобувачам самостійно вивчити і практично засвоїти матеріал дисципліни. У методичних вказівках поряд із завданнями до виконання модульних контрольних робіт (МКР) надається приклад розв'язання задач. Під час вивчення дисципліни «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» здобувачі виконують по одній модульній контрольній роботі за кожен модуль.

У процесі виконання модульної роботи необхідно дотримуватись вимог нормативних документів щодо виконання розрахунків, кодексу академічної доброчесності Національного університету цивільного захисту України, а також вимог даних методичних вказівок.

Вимоги до вибору варіанту та оформлення модульної контрольної роботи.

Варіант завдання для виконання модульної контрольної роботи обирається за двома останніми цифрами залікової книжки, наприклад: залікова книжка має номер **З 24.62**, отже, номер варіанту — **62**.

Модульна контрольна робота може бути виконана від руки в окремому зошиті або виконана у будь-якому текстовому редакторі.

Вимоги до оформлення (текстовий редактор):

Робота виконується на стандартних аркушах формату А-4(210×297). Мова – українська. Робота друкується шрифтом Times New Roman, 14 кеглем; вирівнювання тексту – «За шириною»; міжрядковий інтервал «Полуторний» (1,5 Lines); абзацний відступ – 1,25 см; верхнє і нижнє поле – 2 см., лівє – 3 см, правє – 2 см. У тексті обов'язково повинні бути посилання на джерела використаної літератури.

Модульна контрольна робота повинна містити титульний аркуш, завдання, відповідь на теоретичну частину, практичну частину, список використаних джерел.

Графічні матеріали (рисунок, схеми, графіки, фото тощо) розміщуються по центру (без абзацного відступу) знизу рисунка, позначаються «Рис.» (наприклад Рис.1). Таблиці позначаються «Табл.» та нумеруються арабськими цифрами відповідно до розділу та порядкового номеру таблиці. Заголовки таблиць розміщуються зверху (наприклад Табл.1).

На усі рисунки та таблиці повинні бути посилання у тексті.

У теоретичній частині розкривається зміст теоретичного питання з обов'язковим посиланням на джерела використаної літератури (для посилання використовуємо [...]). Кількість посилань – не обмежена (але не менше 5-6), рекомендовано використовувати посилання на підручники, нормативні документи, наукові видання.

У списку використаних джерел наводяться посилання на опрацьовану літературу. Список використаних джерел повинен бути оформлений згідно ДСТУ 8302:2015.

Альтернативна форма виконання модульних контрольних робіт.

Написання модульної контрольної роботи, за погодженням із викладачем, може бути змінено на виконання індивідуальних завдань. Виконання індивідуальних завдань також може бути враховане під час поточного оцінювання знань здобувача вищої освіти, якщо воно не враховане замість модульної контрольної роботи.

Індивідуальне завдання оцінюється за критеріями оцінювання знань здобувачів вищої освіти за виконання модульної контрольної роботи.

Індивідуальні завдання можуть бути виконані у вигляді написання реферату, наукової статті, перекладу, підготовки результатів власних досліджень до виступу на конференції, підготовки роботи на Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт за проблематикою дисципліни.

Вимоги до оформлення реферату.

Об'єм реферату повинен складати 12-15 сторінок друкованого тексту на стандартних аркушах формату А-4(210×297). Мова реферату – українська. Робота друкується шрифтом Times New Roman, 14 кеглем; вирівнювання тексту – «За шириною»; міжрядковий інтервал «Полуторний» (1,5 Lines); абзацний відступ – 1,25 см; верхнє і нижнє поле – 2 см., лівє – 3 см, правє – 2 см. У тексті обов'язково повинні бути посилання на джерела використаної літератури.

Реферат повинен містити титульний аркуш, зміст, вступ, основну частину (може містити кілька розділів), висновок, список використаних джерел та, за необхідності, додатки.

Графічні матеріали (рисунки, схеми, , графіки, фото тощо) розміщуються по центру (без абзацного відступу) знизу рисунка, позначаються «Рис.» (наприклад Рис.1 (у вступі), Рис 2.2 – 2 рисунок у другому розділі) та нумеруються арабськими цифрами відповідно до розділу

та порядкового номеру графічного матеріалу у розділі (наприклад Рис.1 (у вступі), Рис 2.2 – 2 рисунок у другому розділі). Таблиці позначаються «Табл.» та нумеруються арабськими цифрами відповідно до розділу та порядкового номеру таблиці у розділі. Заголовки таблиць розміщуються зверху (наприклад Табл.1 (у вступі), Табл. 2.2 – 2 таблиця у другому розділі).

На усі рисунки та таблиці повинні бути посилання у тексті.

У вступі реферату повинна бути обґрунтована актуальність теми, мета та задачі реферату.

У основній частині, що може мати кілька розділів – висвітлюються основні питання. Може містити аналіз літературних джерел, що стосуються теми реферату. Теоретичні та практичні питання, які забезпечують розкриття мети реферату.

У висновках необхідно підбити підсумки проведеного аналізу за проблематикою реферату, теоретичні та практичні рекомендації, що впливають з проведеного аналізу. Висновок – це логічно поданий стислий зміст результатів виконаної роботи.

У додатках (за необхідності) наводяться додаткові матеріали, що дозволяють розкрити тему реферату. Наприклад, словник базових та основних понять (глосарій).

У списку використаних джерел наводяться посилання на опрацьовану літературу. Список використаних джерел повинен бути оформлений згідно ДСТУ 8302:2015.

Текст реферату перевіряється на наявність ознак академічного плагіату. Рекомендованим показником унікальності реферату є 50 % і більше .

Вимоги до наукової статті.

Наукова стаття може бути врахована замість виконання модульної контрольної роботи тільки у тому випадку, якщо вона подана для публікації чи опубліковано у будь-якому науковому виданні та стосується тематики дисципліни. Вимоги до оформлення наукової статті – згідно із вимогами відповідного наукового видання.

Вимоги до підготовки результатів власних досліджень до виступу на конференції.

Результати власних досліджень до виступу на конференції можуть бути враховані замість виконання модульної контрольної роботи тільки у тому випадку, якщо вони подані для участі у роботі конференції чи за результатами роботи цієї конференції (тези) та стосуються тематики дисципліни. Вимоги до оформлення наукової статті результатів власних досліджень – згідно із вимогами відповідної конференції у вигляді презентації та(або) тез матеріалів роботи конференції.

Вимоги до перекладу.

Переклад може бути врахована замість виконання модульної контрольної роботи тільки у тому випадку, якщо текст перекладу стосується тематики дисципліни.

Переклад оформляється у вигляді реферату. Вимоги до перекладу такі як для вимог оформлення реферату, з тією різницею, що переклад має містити титульний аркуш, 2 розділи основної частини (1 розділ – оригінальний текст, 2 розділ – переклад), глосарій (словник термінів та скорочень) та літературу – посилання на оригінальний текст.

Для перекладу, за узгодженням із викладачем, можуть бути використані: монографії, автореферати, дисертації та анотації, наукові статті, кваліфікаційні роботи, реферати, навчальні та наукові посібники, науково-технічні тексти.

Вимоги до роботи на Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт.

Робота на Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт може бути врахована замість виконання 2 модульних контрольних робіт тільки у тому випадку, якщо вона стосується тематики дисципліни.

Вимоги до оформлення студентських наукових робіт наведено за посиланням: <https://nuczu.edu.ua/ukr/nauka/vseukrainskyi-konkurs-studentskykh-naukovykh-robit>.

Орієнтовна тематика індивідуальних завдань.

Тематика індивідуальних завдань визначається проблематикою дисципліни та науковими інтересами здобувача вищої освіти. Орієнтовний перелік тем індивідуальних завдань:

1. Забезпечення пожежної та техногенної безпеки з урахуванням ризик-орієнтованого підходу
2. Визначення та формалізація терміна «ризик».
3. Методологія розрахунку ризиків.
4. Методи розрахунку ризику, імовірності, надійності.
5. Надзвичайна ситуація, як випадковий процес.
6. Основні фактори ризику.
7. Прогноз можливих наслідків НС.
8. Побудова дерева відмов, дерева подій.
9. Побудова полів ризиків.
10. Зменшення та управління ризиками
11. Оцінка наслідків від вибуху вибухонебезпечних предметів.

Розміщення виконаної роботи у Google Classroom здійснюється у форматі .pdf одним файлом.

Приклад підпису файлу .pdf:

Вар_1_МКР1_ОРПБ_Устименко_ІІ_ЗПБ-24-1.

Завдання на виконання модульної роботи №1

При виконанні модульної роботи №1 здобувачі повинні дати відповідь на 2 теоретичних питання та розв'язати три задачі.

Теоретична частина модульної контрольної роботи №1

Теоретичні питання обираються згідно варіанту за таблицею 1 та переліком, що наведено нижче.

Табл. 1 — Вибір теоретичних питань до модульної контрольної роботи №1 згідно варіанту.

Номер залікової книжки		Остання цифра залікової книжки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Передостання цифра залікової книжки	1	1, 47	9, 33	8, 32	7, 31	6, 30	5, 29	4, 28	3, 27	2, 26	10, 25
	2	11, 24	2, 46	12, 23	13, 22	14, 21	15, 37	16, 36	17, 35	18, 34	19, 33
	3	1, 24	2, 25	3, 45	3, 26	4, 27	5, 28	6, 29	7, 30	8, 31	9, 32
	4	10, 33	11, 34	12, 35	4, 44	13, 36	14, 37	15, 38	16, 39	17, 40	18, 41
	5	19, 42	18, 47	17, 46	16, 45	5, 43	15, 44	14, 43	13, 42	12, 41	11, 40
	6	20, 43	10, 39	5, 34	4, 33	3, 32	6, 42	2, 31	1, 30	23, 29	22, 28
	7	21, 44	9, 38	14, 35	22, 47	19, 41	7, 33	7, 41	8, 25	14, 31	20, 40
	8	22, 45	8, 37	12, 36	13, 47	2, 26	14, 38	17, 34	8, 40	10, 47	4, 25
	9	23, 46	7, 36	21, 32	14, 37	9, 26	8, 31	13, 33	15, 40	9, 39	3, 41
	0	24, 47	6, 35	14, 28	19, 39	15, 30	6, 25	13, 27	1, 29	22, 24	10, 38

Перелік теоретичних питань модульної контрольної роботи №1.

1. У чому полягає сутність ризик-орієнтованого підходу?
2. В чому основна відмінність імовірності від ризику.
3. Забезпечення пожежної та техногенної безпеки з урахуванням

РОП. Особливості.

4. Визначення та формалізація терміну «ризик».
5. Класифікація ризиків.
6. Поняття ризику в Україні та за кордоном.
7. «Місце» ризику в нормативних документах України.
8. Одиниці вимірювання ризиків. Навести приклади.
9. Навести формули для розрахунку ризику.
10. Види втрат, їх одиниці виміру.
11. Абсолютно прийнятний та абсолютно неприйнятний ризики.
Пояснити різницю між цими поняттями та на скільки (чисельно) вони відрізняються.
12. Прийнятний та умовно прийнятний ризики. Пояснити різницю між цими поняттями та на скільки (чисельно) вони відрізняються.
13. Принцип ALARA.
14. Індивідуальний ризик. Навести приклади.
15. Територіальний ризик. Навести приклади.
16. Соціальний ризик. Навести приклади.
17. Чим відрізняється соціальний ризик від індивідуального?
Основна відмінність.
18. Методи для аналізу та розрахунку ризику. Навести приклади.
19. Експертний метод при оцінці ризиків.
20. Інженерні методи при оцінці ризиків.
21. Основні відмінності інженерних методів від експертного при оцінці ризиків.
22. Основні недоліки експертного методу при оцінці ризиків.
23. Проблемні питання впровадження ризик-орієнтованого підходу в Україні.
24. Основні положення Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.
25. Назвати критерії за якими оцінюється ступінь ризику?

26. Відмінність детермінованого і ймовірнісного підходів при оцінці ризиків.
27. Навести приклади факторів, що впливають на ймовірність виникнення пожежі.
28. Навести приклади факторів, що впливають на величину втрат від пожежі.
29. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «мозкова атака».
30. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «метод HAZOP».
31. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «структурований метод «Що - якщо» (SWIFT)».
32. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування видів і наслідків відмов (FMEA) і аналізування видів, наслідків і критичності відмов (FMECA)».
33. Проаналізуйте три «періоди життя» технічного засобу.
34. Поясніть перший період на кривій інтенсивності відмов від часу. Наведіть приклади.
35. Поясніть другий період на кривій інтенсивності відмов від часу. Наведіть приклади.
36. Поясніть третій період на кривій інтенсивності відмов від часу. Наведіть приклади.
37. Розкрийте зміст поняття резервування. Наведіть приклади.
38. Нормальний закон розподілу.
39. Рівномірний закон розподілу.
40. Ймовірність безвідмовної роботи. Наведіть приклади.
41. Розкрийте поняття середній час напрацювання на відмову.
42. Розкрийте поняття інтенсивність відмов та наведіть приклади.
43. Умовна ймовірність. Наведіть приклади.
44. Теорема множення ймовірностей незалежних подій. Наведіть

приклади.

45. Теорема множення ймовірностей залежних подій. Наведіть приклади.

46. У чому різниця між поелементним та загальним резервуванням?

47. В чому полягає статистичний характер поняття надійності?

Практична частина модульної контрольної роботи №1

Під час вибору вихідних даних для розв'язування задач у якості X обирається передостання цифра залікової книжки, у якості Y — остання. Наприклад, для варіанту 62: $X = 6$; $Y = 2$.

Задача №1

На території підприємства може відбутися вибух, пожежа, розлив небезпечної речовини. Яка імовірність настання хоча б одної НС, якщо події незалежні та мають відповідні ймовірності протягом року: $P_{\text{виб}} = 0,001 \times (X+1)$; $P_{\text{пож}} = 0,001 \times (Y+1)^2$; $P_{\text{розл}} = 0,02 / (X+Y+1)$. Як зміниться імовірність виникнення НС протягом року якщо імовірність вибуху зменшити на 50%.

Задача №2.

На території підприємства може відбутися пожежа. Імовірність появи горючого середовища $P(ГС) = 0,01 \times (X+1)$, умовна імовірність появи джерела запалювання $P_{A1}(B1) = 0,02 \times (Y+1)$, умовна імовірність появи джерела запалювання $P_{A1}(B2) = 0,0015 \times (X+Y+1)^2$. В $(80 / (X+1))$ випадків пожежа призводить до вибуху. Імовірність вибуху на іншій технологічній установці $P_{(\text{виб}2)} = 0,001 \times (Y+1)$. Яка імовірність настання хоча б одної НС? Яка імовірність пожежі та вибуху протягом року? Яка імовірність вибуху протягом року?

Задача №3

На об'єкті підвищеної небезпеки може відбутися аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі.

Відстань від ОПН до шосе – L метрів, критична відстань на якій формується небезпечний для людини тиск (пасажирів авто), а саме смертельні випадки – $L_{кр}$ метрів (див рис. 1).

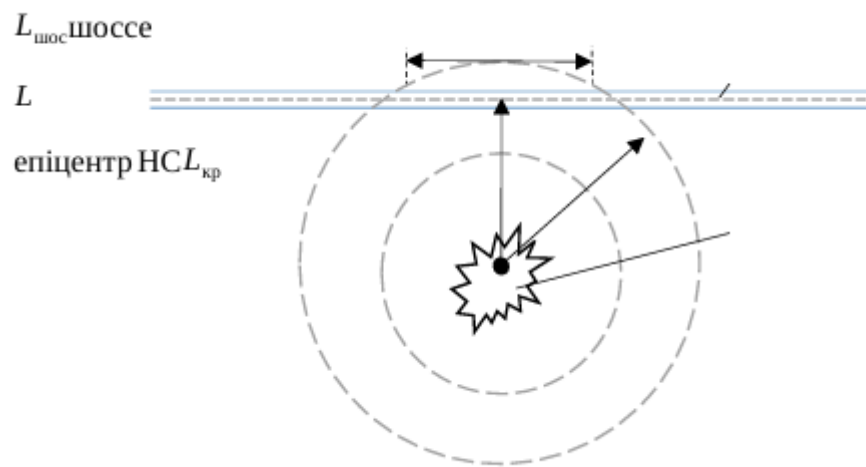


Рис. 1. Схема розташування шосе відносно епіцентру НС

В табл. 2, 3 наведені вихідні дані для проведення розрахунків, а саме:

- відстань від епіцентру вибуху до шосе – L метрів;
- критична відстань на якій формується небезпечний для людини тиск (пасажирів авто) – $L_{кр}$ метрів;
- імовірність вибуху протягом року;
- розподіл кількості автомобілів, що проїжджають по шосе протягом години. Приймається, що в кожному автомобілі знаходиться водій та пасажир (дві особи).

Табл. 2 – Вихідні дані для розрахунків задачі №3 МКР №1

L, м	$20+10 \times (X+5)$
$L_{кр}$, м	$35+12 \times (Y+12)$
P	$(X+Y+1) \times 10^{-5}$

Табл. 3 – Вихідні дані для розрахунків задачі №3 МКР №1.
Розподіл кількості автомобілів, що проїжджають по шосе протягом години

№ з/п	Час доби	Кількість автомобілів протягом години*
1.	$0^{00} - 5^{00}$	$100 \times 0,9^{(X+1)}$
2.	$5^{00} - 6^{00}$	$100 \times 1,03^{(X+1)}$
3.	$6^{00} - 8^{00}$	$100 \times 1,15^{(X+1)}$
4.	$8^{00} - 17^{00}$	$100 \times 1,17^{(Y+1)}$
5.	$17^{00} - 20^{00}$	$100 \times 1,18^{(Y+1)}$
6.	$20^{00} - 0^{00}$	$100 \times 1,04^{(Y+1)}$

* – визначене значення кількості автомобілів протягом доби округлюється до більшого цілого значення.

Визначити середню кількість людей протягом дня, що можуть одночасно знаходитись в небезпечній зоні. Визначити ризик смерті протягом року.

Приклад розв’язання задач МКР №1

Задача №1 (99 варіант)

$$X = 9; Y = 9.$$

На території підприємства може відбутися вибух, пожежа, розлив небезпечної речовини. Яка імовірність настання хоча б одної НС, якщо події

незалежні та мають відповідні ймовірності протягом року: $P_{\text{виб}} = 0,001 \times (9+1)$; $P_{\text{пож}} = 0,001 \times (9+1)^2$; $P_{\text{розл}} = 0,02/(9+9+1)$. Як зміниться імовірність виникнення НС протягом року якщо імовірність вибуху зменшити на 50%.

Дано:

$P_{\text{виб}} =$	0,01	1/рік
$P_{\text{пож}} =$	0,1	1/рік
$P_{\text{розл}} =$	0,00105	1/рік
$P_{\text{НС}} =$	?	
$P^* =$	?	

Розв'язання:

1) Імовірність того, що відбудеться хоча б одна НС:

$$P_{\text{НС}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) = 1 - (1 - P_{\text{виб}}) \cdot (1 - P_{\text{пож}}) \cdot (1 - P_{\text{розл}}) =$$

$$= 1 - (1 - 0,01) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,00105) = 0,11 \text{ рік}^{-1}$$

2) Проведемо оцінку імовірності виникнення НС протягом року якщо імовірність вибуху зменшити на 50%:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{P_{\text{виб}}}{2}\right) \cdot (1 - P_{\text{пож}}) \cdot (1 - P_{\text{розл}}) = 1 - (1 - 0,01/2) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,00105) = 0,105$$

$$\text{рік}^{-1}$$

3) Таким чином імовірність НС зменшилась на 0,07, або:

$$\xi = \frac{P_{\text{НС}} - P}{P_{\text{НС}}} \cdot 100 = ((0,11 - 0,105) / 0,11) \cdot 100 = 4,1 \%$$

Відповідь. Імовірність НС протягом року складає 0,11. При зменшенні імовірності вибуху на 50% імовірність НС зменшується на 4,1 %.

Задача №2 (варіант 00).

$$X = 0; Y = 0.$$

На території підприємства може відбутися пожежа. Імовірність появи горючого середовища $P(\text{ГС}) = 0,01 \times (0+1)$, умовна імовірність появи джерела

запалювання $P_{A1}(B1) = 0,02 \times (0+1)$, умовна імовірність появи джерела запалювання $P_{A1}(B2) = 0,0015 \times (0+0+1)^2$. В $(80/(0+1))$ випадків пожежа призводить до вибуху ($\%_{(виб2)}$). Імовірність вибуху на іншій технологічній установці $P_{(виб2)} = 0,001 \times (0+1)$. Яка імовірність настання хоча б одної НС? Яка імовірність пожежі та вибуху протягом року? Яка імовірність вибуху протягом року?

Дано:

$P_{Гс} =$	0,01	рік ⁻¹
$P_{A1}(B1) =$	0,02	рік ⁻¹
$P_{A1}(B2) =$	0,0015	рік ⁻¹
$P_{(виб2)} =$	0,001	рік ⁻¹
$\%_{(виб1)}$	80	%
$P_{НС} =$	?	
$P_{Пож/виб}$		
$=$	?	
$P_{виб} =$	?	

Розв'язання:

1) Імовірність того, що буде хоча б 1 ДЗ:

$$P_{ДЗ} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) = 1 - (1 - P_{A1}(B1)) \cdot (1 - P_{A1}(B2)) = \\ = 1 - (1 - 0,02) \cdot (1 - 0,0015) = 0,02147 \text{ рік}^{-1}$$

2) Імовірність того, що виникне пожежа:

$$P_{Пож} = P_{ДЗ} \cdot P_{Гс} = 0,02147 \cdot 0,01 = 2,147 \times 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$$

3) Імовірність вибуху у першій установці:

$$P_{виб1} = P_{Пож} \cdot 0,01 \cdot \%_{(виб1)} = 2,147 \times 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot 80 = 1,7 \times 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$$

4) Імовірність вибуху на всьому підприємстві:

$$P_{виб} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) = 1 - (1 - P_{виб2}) \cdot (1 - P_{виб1}) = \\ = 1 - (1 - 0,001) \cdot (1 - 0,00017) = 1,17 \times 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$$

5) Імовірність пожежі та вибуху:

$$P_{\text{ПОЖ/ВИБ}} = P_{\text{ПОЖ}} \cdot P_{\text{ВИБ}} = 2,147 \times 10^{-3} \cdot 1,17 \times 10^{-3} = 2,52 \times 10^{-7} \text{ рік}^{-1}$$

6) Імовірність настання хоча б одної НС

$$\begin{aligned} P_{\text{НС}} &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) = 1 - (1 - P_{\text{ВИБ}}) \cdot (1 - P_{\text{ПОЖ}}) = \\ &= 1 - (1 - 0,00117) \cdot (1 - 0,002147) = 0,00139 \text{ рік}^{-1} \end{aligned}$$

Відповідь. Імовірність НС протягом року складає $1,39 \times 10^{-3}$, імовірність пожежі та вибуху складає $2,52 \times 10^{-7}$, імовірність вибуху становить $1,17 \times 10^{-3}$.

Задача №3 (варіант 87).

$$X = 8; Y = 7.$$

На об'єкті підвищеної небезпеки може відбутися аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі.

Відстань від ОПН до шосе – L метрів, критична відстань на якій формується небезпечний для людини тиск (пасажирів авто), а саме смертельні випадки – $L_{\text{кр}}$ метрів (див рис. 1).

В табл. 4, 5 наведені вихідні дані для проведення розрахунків за варіантом 87, а саме:

1. відстань від епіцентру вибуху до шосе – L метрів;
2. критична відстань на якій формується небезпечний для людини тиск (пасажирів авто) – $L_{\text{кр}}$ метрів;
3. імовірність вибуху протягом року;
4. розподіл кількості автомобілів, що проїжджають по шосе протягом години. Приймається, що в кожному автомобілі знаходиться водій та пасажир (дві особи).

Табл. 4 – Вихідні дані для розрахунків задачі №3 МКР №1 за варіантом 87

L , м	$20 + 10 \times (8 + 5) = 150$ м
$L_{\text{кр}}$, м	$35 + 12 \times (7 + 12) = 263$ м
P	$(8 + 7 + 1) \times 10^{-5} = 1,6 \times 10^{-4}$

Табл. 5 - Вихідні дані для розрахунків задачі №3 МКР №1 за варіантом 87. Розподіл кількості автомобілів, що проїжджають по шосе протягом години

№ з/п	Час доби	Кількість автомобілів протягом години*	Протягом періоду
1.	0 ⁰⁰ – 5 ⁰⁰	$100 \times 0,9^{(8+1)} = 39$	195
2.	5 ⁰⁰ – 6 ⁰⁰	$100 \times 1,03^{(8+1)} = 130$	130
3.	6 ⁰⁰ – 8 ⁰⁰	$100 \times 1,15^{(8+1)} = 352$	704
4.	8 ⁰⁰ – 17 ⁰⁰	$100 \times 1,17^{(9+1)} = 351$	3159
5.	17 ⁰⁰ – 20 ⁰⁰	$100 \times 1,18^{(9+1)} = 376$	1128
6.	20 ⁰⁰ – 0 ⁰⁰	$100 \times 1,04^{(9+1)} = 137$	548
Σ	за 24 год		5864
Сер		$5864/24 \approx 245$	

* – визначене значення кількості автомобілів протягом доби округлюється до більшого цілого значення.

Визначити середню кількість людей протягом дня, що можуть одночасно знаходитись в небезпечній зоні. Визначити ризик смерті протягом року.

На об'єкті підвищеної небезпеки може відбутися аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі. Відстань від епіцентру НС до шосе (L) – 150 метрів, критична відстань на якій формується небезпечний для людини тиск ($L_{кр}$) – 263 метри. Швидкість руху автотранспорту 80 км/год. Імовірність вибуху протягом року становить $0,00016 \text{ рік}^{-1}$. Розподіл кількості автомобілів, що проїжджають по шосе протягом години за день складає 245. Приймається, що в кожному автомобілі знаходиться водій та пасажир (дві особи).

Визначити середню кількість людей протягом дня, що можуть одночасно знаходитись в небезпечній зоні. Визначити ризик смерті протягом року.

Дано:

$L =$	150	м
$L_{кр} =$	263	м
$P_{виб} =$	0,00016	1/рік
$V_{авт} =$	80	км/год
$I_{авт} =$	245	авт/год
$n_{л} =$	2	
$R =$	?	
$N_{л}^* =$	?	

Розв'язання:

1) Знайдемо довжину частини шосе, на якій формується небезпечний для людини тиск:

$$L_{шос} = 2 \cdot \frac{\sqrt{L_{кр}^2 - L^2}}{1000} = 2 \cdot \frac{\sqrt{263^2 - 150^2}}{1000} = 0,432 \text{ км}$$

2) Знайдемо час, за який автомобілі проїжджають цю частину шосе знаючи їх швидкість:

$$\tau_{шос} = L_{шос} / v_{авт} = 0,432 / 80 = 0,0054 \text{ год}$$

3) Знайдемо ймовірність перебування на визначеній ділянці у момент аварії, спираючись на інтенсивність руху:

$$P_{авт} = \tau_{шос} \cdot I_{авт} = 0,0054 \cdot 245 = 1,323$$

4) Знайдемо ймовірну кількість людей на визначеній ділянці шосе у момент вибуху зважаючи на її завантаження та кількість людей, що знаходяться в автомобілі (округлюємо у більшу сторону):

$$N_{люд} = P_{авт} \cdot n_{л} = 1,323 \cdot 2 = 2,646 \approx 3$$

6) Визначимо ризик смерті протягом року:

$$R = P_{виб} \cdot P_{люд} = 0,00016 \cdot 3 = 4,8 \times 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$$

Відповідь. Кількість людей, що одночасно можуть знаходитись в небезпечній зоні 3 особи. Ризик смерті протягом року становить $4,8 \times 10^{-4}$.

Завдання на виконання модульної роботи №2

При виконанні модульної роботи №2 здобувачі повинні дати відповідь на 2 теоретичних питання та розв'язати дві задачі.

Теоретична частина модульної контрольної роботи №2

Теоретичні питання обираються згідно варіанту за таблицею 6 та переліком, що наведено нижче.

Табл. 6 — Вибір теоретичних питань до модульної контрольної роботи №2 згідно варіанту.

Номер залікової книжки		Остання цифра залікової книжки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Передостання цифра залікової книжки	1	1, 47	9, 33	8, 32	7, 31	6, 30	5, 29	4, 28	3, 27	2, 26	10, 25
	2	11, 24	2, 46	12, 23	13, 22	14, 21	15, 37	16, 36	17, 35	18, 34	19, 33
	3	1, 24	2, 25	3, 45	3, 26	4, 27	5, 28	6, 29	7, 30	8, 31	9, 32
	4	10, 33	11, 34	12, 35	4, 44	13, 36	14, 37	15, 38	16, 39	17, 40	18, 41
	5	19, 42	18, 47	17, 46	16, 45	5, 43	15, 44	14, 43	13, 42	12, 41	11, 40
	6	20, 43	10, 39	5, 34	4, 33	3, 32	6, 42	2, 31	1, 30	23, 29	22, 28
	7	21, 44	9, 38	14, 35	22, 47	19, 41	7, 33	7, 41	8, 25	14, 31	20, 40
	8	22, 45	8, 37	12, 36	13, 47	2, 26	14, 38	17, 34	8, 40	10, 47	4, 25
	9	23, 46	7, 36	21, 32	14, 37	9, 26	8, 31	13, 33	15, 40	9, 39	3, 41
	0	24, 47	6, 35	14, 28	19, 39	15, 30	6, 25	13, 27	1, 29	22, 24	10, 38

Перелік теоретичних питань модульної контрольної роботи №2.

1. Методи аналізу ризику.
2. Для чого проводиться аналіз ризику?
3. Основні причини аварій (вибухопожежна небезпека).

4. Наведіть основні фактори негативного впливу НС на людину та навколишнє середовище.
5. Навести перелік основних джерел небезпеки.
6. Прогноз можливих наслідків НС. Для чого він потрібен?
7. Наведіть коротку характеристику стадій розвитку НС.
8. Небезпечні чинники пожежі.
9. Методика розрахунку інтенсивності теплового випромінювання горіння «вогняної кулі».
10. Небезпечні чинники вибуху.
11. Назвати основні параметри, що визначають інтенсивність ударної хвилі.
12. Наведіть небезпечні фактори вибуху вибухонебезпечних предметів.
13. Для чого призначено ідентифікування ризику?
14. Навести загальний опис методів ідентифікування ризику.
15. Основні завдання етапу ідентифікування небезпек.
16. Основні елементи дерева відмов.
17. Основні елементи дерева подій.
18. В чому різниця дерева відмов та дерева подій?
19. Для чого потрібно дерево відмов та порядок його побудови?
20. Для чого потрібно дерево подій та порядок його побудови?
21. Як розраховуються імовірності подій, що пов'язані логічними елементами «і» та «або».
22. Призначення FN діаграми.
23. Призначення FG діаграми.
24. Порядок побудови FN діаграми.
25. Чим відрізняється FN від FG діаграми?
26. Яким видам ризику відповідають FN та FG діаграми? Дайте обґрунтовану відповідь.

27. Яка з діаграм FN чи FG являється більш «широкою»? Дайте обґрунтовану відповідь.
28. Пробіт-функція. Її використання при оцінці ймовірності наслідків надзвичайних ситуацій.
29. Що впливає на імовірність опіків при формуванні «вогняного шару» та як?
30. Що впливає на імовірність травмування при формуванні збиткового тиску при вибуху та як?
31. Загальні підходи до оцінки та прогнозування наслідків аварій з викиданням (проливанням) НХР.
32. Описати етапи побудови статистичних кривих FN (FG).
33. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування дерева відмов (FTA)».
34. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування дерева подій (ETA)».
35. Сутність пробіт-аналізу при оцінці ризиків?
36. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з вибухами за допомогою пробіт-функції.
37. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами за допомогою пробіт-функції.
38. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з викидом (виливом) небезпечних хімічних речовин за допомогою пробіт-функції.
39. За якими напрямками розподіляються заходи зниження ризику виробничої діяльності для персоналу, населення, довкілля?
40. Дайте коротку характеристику заходів моніторингу, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
41. Дайте коротку характеристику заходів обмеження, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
42. Дайте коротку характеристику заходів захисту, що викори-

стовуються для зниження ризику виробничої діяльності?

43. Які заходи здійснюються з метою управління ризиком надзвичайних ситуацій у практичній діяльності?
44. Назвати основні напрямки зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.
45. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зниження ймовірності виникнення аварії.
46. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зменшення масштабів та (або) напрямків поширення фізичних полів впливу від аварії у навколишньому просторі.
47. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зменшення масштабів ураження.

Практична частина модульної контрольної роботи №2

Під час вибору вихідних даних для розв'язування задач у якості X обирається передостання цифра залікової книжки, у якості Y — остання. Наприклад, для варіанту 62: $X = 6$; $Y = 2$.

Задача №1

На території підприємства може відбутися пожежа та/або вибух. Імовірність появи горючого середовища при формуванні НС №1, що призведе до пожежі $P(A1)$ – невідома (відома величина середнього часу напрацювання на відмову пристрою, що призводить до утворення ГС $T_{\text{сер}} = 1700000 \times (X+1)$ год), умовна імовірність появи джерела запалювання $P_{A1}(B1) = P_{\text{дз1}} = 0,00024 \times (Y+1)$. При цьому можливі матеріальні збитки та смерть людей (див. табл. 7).

Табл. 7 – Вихідні дані задачі

НС	Імовірність НС	Збиток	
		Смертність	Збиток, млн. грн
1		1	$1,2 \cdot (Y+1)$
2	$1,8 \cdot 10^{-6} \cdot (X+1)$	7	$1,47 \cdot (X+1)$
3	$2 \cdot 10^{-7} \cdot (Y+1)^2$	2	$12,45 \cdot (0,1 \times Y+1)$
4	$1,9 \cdot 10^{-6} \cdot (X+1)$	3	$6 \cdot (0,2 \times X+1)$

1. Яка імовірність НС протягом року?
2. Побудувати FN діаграму.
3. Побудувати FG діаграму (для загальних збитків).
4. Встановити яка НС призводить до максимальних ризиків (за умови що компенсація загиблим сягає $0,4 + 0,06 \times (X+Y+5)$ млн. грн.).
5. Визначити в % внесок кожної НС в загальну величину ризику (побудувати кільцеву діаграму).
6. Як вплине зменшення імовірності виникнення НС №2 до на 30% на загальну величину ризику?

Задача №2

На об'єкті підвищеної небезпеки може відбутися аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі з імовірністю $P = (X+1) \times 10^{-5}$. Інтенсивність розміщення людей на території складає 0,01 осіб/м². У вибуху приймає участь $(X+Y+1) \times 100$ кг пропан-бутану.

Визначити ризик травмування та загибелі людей, за умови, що загибель відбувається при $90 + (X+1)$ кПа, а травмування при $30 + 2 \times (Y+1)$ кПа.

Приклад розв'язання задач МКР№2

Задача №1 (98 варіант)

$$X = 9; Y = 8.$$

На території підприємства може відбутися пожежа та/або вибух. Імовірність появи горючого середовища при формуванні НС №1, що призведе до пожежі $P(A1)$ – невідома (відома величина середнього часу напрацювання на відмову пристрою, що призводить до утворення ГС $T_{\text{сер}} = 1700000 \times (9+1) = 17000000 = 1,7 \times 10^7$ год), умовна імовірність появи джерела запалювання $P_{A1}(B1) = P_{\text{ДЗ1}} = 0,00024 \times (8+1) = 2,16 \times 10^{-3}$. При цьому можливі матеріальні збитки та смерть людей (див. табл. 7).

Табл. 7 – Вихідні дані задачі

НС	Імовірність НС	Збиток	
		Смертність	Збиток, млн. грн
1		1	$1,2 \times (8+1) = 10,8$
2	$1,8 \cdot 10^{-6} \times (9+1) = 1,8 \times 10^{-5}$	7	$1,47 \times (9+1) = 14,7$
3	$2 \cdot 10^{-7} \times (8+1)^2 = 1,62 \times 10^{-5}$	2	$12,45 \times (0,1 \times 8+1) = 22,4$
4	$1,9 \cdot 10^{-6} \times (9+1) = 1,9 \cdot 10^{-5}$	3	$6 \times (0,2 \times 9+1) = 16,8$

1. Яка імовірність НС протягом року?
2. Побудувати FN діаграму.
3. Побудувати FG діаграму (для загальних збитків).
4. Встановити яка НС призводить до максимальних ризиків (за умови що компенсація загиблим сягає $0,4 + 0,06 \times (9+8+5) = 1,72$ млн. грн.).
5. Визначити в % внесок кожної НС в загальну величину ризику (побудувати кільцеву діаграму).
6. Як вплине зменшення імовірності виникнення НС №2 до на 30% на загальну величину ризику?

Розв'язання

1) Встановимо імовірність НС протягом року:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i),$$

де n – кількість можливих надзвичайних ситуацій, P_i – імовірність виникнення i -ої НС.

Імовірність виникнення НС №1 можна визначити виходячи з виразу

$$P_1 = P_{ГС1} \cdot P_{ДЗ1},$$

де $P_{ГС1}, P_{ДЗ1}$ – імовірність появи горючого середовища та джерела запалювання, відповідно.

Імовірність появи горючого середовища можна визначити виходячи з виразу:

$$P_{ГС1} = 1 - e^{-\lambda t}$$

де λ – інтенсивність відмов пристрою, що призводить до утворення ГС.

t – час експлуатації виробу (у нашому випадку $t = 8760$ год), год

λ визначається за виразом:

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{сер}}}.$$

де $T_{\text{сер}}$ – середній час напрацювання на відмову пристрою, що призводить до утворення ГС.

Тоді

$$\lambda = 1/170000000 = 5,88 \times 10^{-8}$$

$$P_{ГС1} = 1 - 2,718^{-5,88 \cdot 10^{-8} \cdot 8760} = 5,15 \times 10^{-4}$$

$$P_{A1}(B1) = P_{ДЗ1} = 0,00024 \times (8+1) = 2,16 \times 10^{-3}.$$

$$P_1 = 5,15 \cdot 10^{-4} \cdot 2,16 \cdot 10^{-3} = 11,126 \times 10^{-7} = 1,1126 \times 10^{-6}$$

$$P = 1 - (1 - 1,1126 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 - 1,8 \cdot 10^{-5}) \cdot (1 - 1,62 \cdot 10^{-5}) \times \\ \times (1 - 1,9 \cdot 10^{-5}) = 5,43 \cdot 10^{-5}$$

Таким чином імовірність НС протягом року складає $5,43 \cdot 10^{-5}$

2) Побудувати FN діаграму:

Для побудови FN діаграми заповнимо наступну таблицю (табл. 8) та проведемо ранжування НС за показником смертності від максимального до мінімального значення (табл. 9).

Таблиця 8 – Вихідні дані для побудови FN діаграми

НС	Імовірність НС	Збиток
		Смертність
1	$1,1126 \times 10^{-6} \approx 0,11 \times 10^{-6}$	1
2	$1,8 \times 10^{-5}$	7
3	$1,62 \times 10^{-5}$	2
4	$1,9 \cdot 10^{-5}$	3

Таблиця 9 – Вихідні дані для побудови FN діаграми після ранжування

НС	Імовірність НС	Збиток	Σ ймовірностей*
		Смертність	
2	0,000018	7	0,000018
4	0,000019	3	0,000037
3	0,0000162	2	0,0000532
1	0,0000011	1	0,0000543

***Пояснення до заповнення стовпчика « Σ ймовірностей» таблиці 9:**

1. Першою за збитками (смертність 7) є НС№2 і відповідна їй ймовірність 0,000018. Записуємо цю ймовірність у стовпчик « Σ ймовірностей».

2. Другою за збитками (смертність 3) є НС№4 і відповідна їй ймовірність 0,000019. Додаємо цю ймовірність до ймовірності, що розміщена у стовпчику « Σ ймовірностей» на рядок вище, та записуємо у стовпчик « Σ ймовірностей» у рядок, що відповідає НС№4.

$$0,000018 + 0,000019 = 0,000037.$$

3. Третьою за збитками (смертність 2) є НС№3 і відповідна їй ймовірність 0,0000162. Додаємо цю ймовірність до ймовірності, що розміщена у стовпчику « Σ

ймовірностей» на рядок вище, та записуємо у стовпчик « Σ ймовірностей» у рядок, що відповідає НС№3.

$$0,000037+0,0000162 = 0,0000532.$$

4. Четвертою за збитками (смертність 1) є НС№1 і відповідна їй ймовірність 0,0000011. Додаємо цю ймовірність до ймовірності, що розміщена у стовпчику « Σ ймовірностей» на рядок вище, та записуємо у стовпчик « Σ ймовірностей» у рядок, що відповідає НС№1.

$$0,0000532+0,0000011 = 0,0000543.$$

За даними таблиці 9 будуємо FN діаграму (рис. 2).

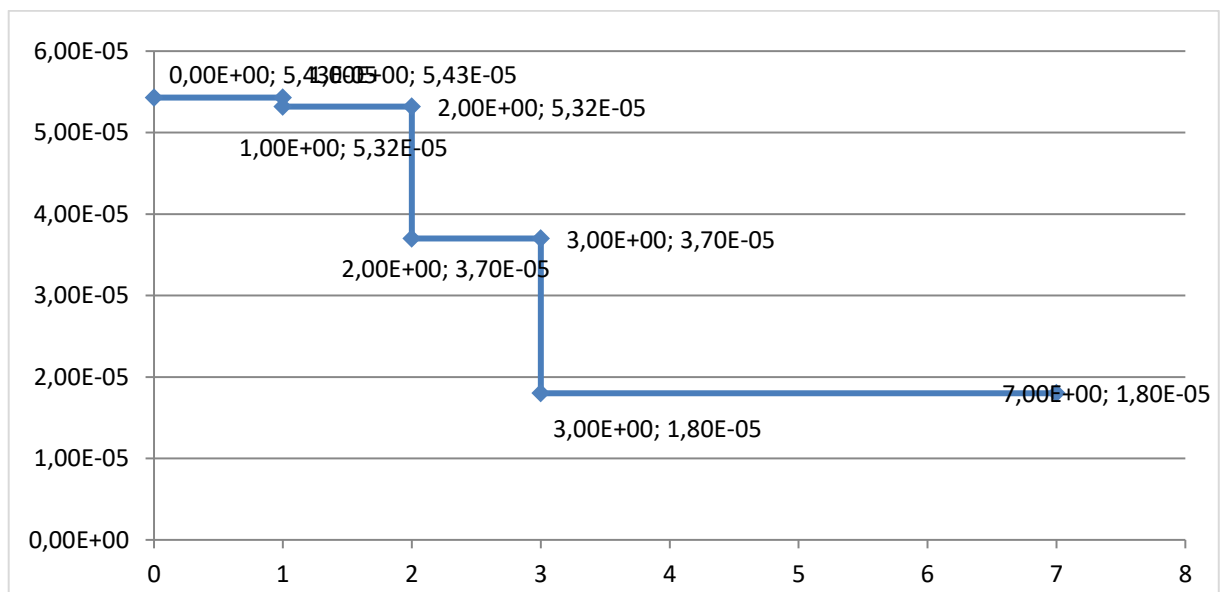


Рис. 2. FN діаграма

3) Побудувати FG діаграму (для загальних збитків).

Для побудови FG діаграми (для загальних збитків) необхідно доповнити табл.8 значеннями матеріальних збитків в результаті кожної НС (заповнити табл. 10., за умови що компенсація загиблим сягає 0,4 +0,06×(X+Y+5) млн. грн. на одну особу = 0,4 +0,06×(9+8+5) = 1,72 млн. грн. на одну особу).

Таблиця 10 – Вихідні дані для побудови FG діаграми

НС	Імовірність НС	Збиток			Загальний збиток, млн. грн., D _i
		Смертність		Збиток, млн. грн.	
		Осіб, кількість	Збиток, млн. грн.		
1	0,0000011	1	1,72	10,8	12,52
2	0,0000180	7	12,04	14,7	26,74
3	0,0000162	2	3,44	22,41	25,85
4	0,0000190	3	5,16	16,8	21,96

Проведемо ранжування НС за показником загального збитку (D_i) від максимального до мінімального значення (табл. 11).

Таблиця 11 – Вихідні дані для побудови FG діаграми після ранжування

НС	Імовірність НС	Загальний збиток, млн. грн., D_i	Σ ймовірностей*
2	0,0000180	26,74	0,000018
3	0,0000162	25,85	0,0000342
4	0,0000190	21,96	0,0000532
1	0,0000011	12,52	0,0000543

*Пояснення до заповнення стовпчика « Σ ймовірностей» таблиці 11:

Заповнюється у такий же спосіб, як і для таблиці 9, з тією різницею, що ранжування НС у таблиці 11 здійснюється за величиною загального збитку (D_i).

На основі табл. 11 на рис. 3 наведено FG діаграму.

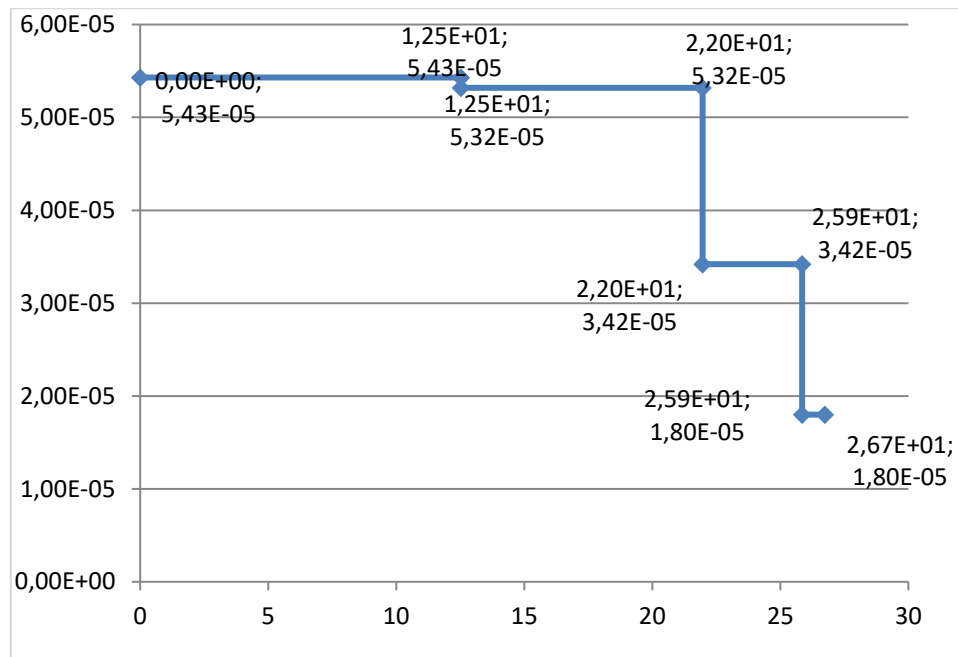


Рис. 3. FG діаграма.

4) Встановити яка НС призводить до максимальних ризиків (за умови що компенсація загиблим сягає $0,4 + 0,06 \times (9+8+5) = 1,72$ млн. грн. на одну особу).

Ризик при виникненні і-ої НС можна розрахувати за наступним виразом

$$R_i = P_i \cdot D_i,$$

де P_i – імовірність виникнення і-ої НС, D_i – збиток від виникнення і-ої НС.

Отримані значення занесем до табл. 12.

Таблиця 12 – Значення ризиків при виникненні НС

НС	Імовірність НС, P_i	Загальний збиток, млн. грн., D_i	Ризик від НС, млн. грн., R_i
1	0,0000011	12,52	0,00001393
2	0,0000180	26,74	0,00048132
3	0,0000162	25,85	0,00041877
4	0,0000190	21,96	0,00041724

Аналіз таблиці 12 показує, що до максимальних ризиків призводить НС №2.

5) Визначити у % внесок кожної НС в загальну величину ризику (побудувати кільцеву діаграму).

Для цього знайдемо сумарне значення ризику за виразом

$$R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

та внесок кожної НС до загального значення за виразом

$$k_i = \frac{R_i}{R} \times 100.$$

Отримані значення занесем до табл. 13.

Таблиця 13 – Значення ризиків при виникненні НС та їх частка від загального значення

НС	Ризик від НС, млн. грн.	k _i , %
1	0,00001393	1,05
2	0,00048132	36,16
3	0,00041877	31,46
4	0,00041724	31,34
Всього	0,00133126	100,00

На основі табл. 13 побудуємо кільцеву діаграму (рис. 4).

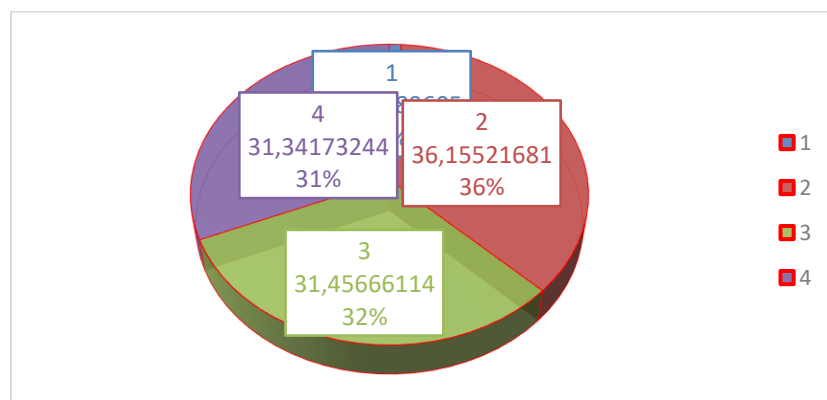


Рис. 4. Внесок НС в загальне значення ризику

6) Як вплине зменшення імовірності виникнення НС №2 на 30% на загальну величину ризику?

Проведемо зменшення імовірності виникнення НС №2 на 30%. Отримані значення імовірності, ризику, та зміни величин ризику занесемо до табл. 14.

Таблиця 14 – Значення ризиків при виникненні НС та їх зміна при зменшенні імовірності виникнення НС №2 на 30%

НС	Імовірність НС	Імовірність НС(*)	Загальний збиток, млн. грн., D_i	Ризик від НС, млн. грн., R_i	Ризик, млн. грн. (*)	ΔR_i , ΔR , %
1	0,0000011	0,0000011		0,00001393	0,00001393	0,00%
2	0,0000180	0,0000126	26,74	0,00048132	0,00033692	30,00%
3	0,0000162	0,0000162		0,00041877	0,00041877	0,00%
4	0,0000190	0,0000190		0,00041724	0,00041724	0,00%
Всього				0,00133126	0,00118686	-10,85%

Аналіз табл. 14 показує, що при зменшенні імовірності виникнення НС №2 на 30%, величина загального ризику зменшиться на 10,85 %.

Задача №2 (94 варіант)

$$X = 9; Y = 4.$$

На об'єкті підвищеної небезпеки може відбутися аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі з імовірністю $P = (9+1) \times 10^{-5}$. Інтенсивність розміщення людей на території складає 0,01 осіб/м². У вибуху приймає участь $(9+4+1) \times 100$ кг пропан-бутану.

Визначити ризик травмування та загибелі людей, за умови, що загибель відбувається при $90 + (9+1)$ кПа, а травмування при $30 + 2 \times (4+1)$ кПа.

Розв'язання

Величину розрахункового надлишкового тиску ΔP у кілопаскалях, що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{\text{пр}}}{r^3} \right),$$

де r відстань від геометричного центра зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м,

де P_0 атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

Приведену масу ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у кілограмах, обчислюють за формулою:

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{зг}}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z$$

де $Q_{\text{зг}}$ питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, Дж/кг; для пропан-бутанової суміші становить 46×10^6 Дж/кг.

Z коефіцієнт участі ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у горінні, який дозволено приймати 0,1;

Q_0 - константа, що дорівнює $4,52 \times 10^6$ Дж/кг;

m - маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР (тп), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

У нашому випадку

$$m = (X+Y+1) \times 100 \text{ (кг)}$$

де $X = 9$, $Y = 4$ (варіант 94 згідно залікової книжки).

$$m = (9+4+1) \times 100 = 1400 \text{ (кг)}$$

Приведена маса пропан-бутану у кілограмах:

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{46 \times 10^6}{4,52 \times 10^6} \right) \times 1000 \times 0,1 = 1424,78 \text{ кг.}$$

Величина розрахункового надлишкового тиску ΔP :

$$\begin{aligned} \Delta P &= 101,3 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 1424,78^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot 1424,78^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot 1424,78}{r^3} \right) = \\ &= 101,3 \cdot \left(\frac{8,78}{r} + \frac{361,92}{r^2} + \frac{7123,9}{r^3} \right) = \end{aligned}$$

Нам потрібно визначити ризик травмування та загибелі людей, за умови, що загибель відбувається при $90 + (9+1) = 100$ кПа, а травмування при $30 + 2 \times (4+1) = 40$ кПа.

Розрахунки за формулою

$$\Delta P = 101,3 \cdot \left(\frac{8,78}{r} + \frac{361,92}{r^2} + \frac{7123,9}{r^3} \right) =$$

зручно представити у вигляді таблиці.

Під час розв'язання задачі рекомендується використовувати застосунок OpenOffice Calc або будь який інший продукт з відкритим програмним кодом.

Визначення надлишкового тиску ΔP здійснюємо поступово підставляючи радіус r розраховуємо із кроком 1 м):

г, м	ΔP , кПа	$\Delta P_{\text{загибелі}}$, кПа	$\Delta P_{\text{травмування}}$, кПа
1	759202,16	100	40
2	99816,68	100	40
3	31097,96	100	40
4	13789,63	100	40
5	7417,67	100	40
6	4507,69	100	40
7	2979,28	100	40
8	2093,56	100	40
9	1541,42	100	40
10	1177,27	100	40
11	926,09	100	40
12	746,39	100	40
13	613,87	100	40
14	513,62	100	40
15	436,10	100	40
16	375,02	100	40

17	326,10	100	40
18	286,34	100	40
19	253,61	100	40
20	226,36	100	40
21	203,44	100	40
22	183,98	100	40
23	167,31	100	40
24	152,94	100	40
25	140,45	100	40
26	129,53	100	40
27	119,92	100	40
28	111,42	100	40
29	103,87	100	40
30	97,13	100	40
31	91,09	100	40
32	85,64	100	40
33	80,72	100	40
34	76,25	100	40
35	72,19	100	40
36	68,48	100	40
37	65,08	100	40
38	61,96	100	40
39	59,09	100	40
40	56,44	100	40
41	53,99	100	40
42	51,72	100	40
43	49,60	100	40

44	47,64	100	40
45	45,80	100	40
46	44,09	100	40
47	42,49	100	40
48	40,98	100	40
49	39,57	100	40
50	38,24	100	40

Тобто:

- в радіусі 30 м від епіцентру вибуху люди гинуть;
- в радіусі 48 м від епіцентру вибуху люди травмуються (за виключення зони загибелі).

За відомими радіусами визначаємо площі зон ураження людей:

$$S_{\text{загибелі}} = \pi R_{\text{загибелі}}^2 = 3,14 \cdot 30^2 = 2826 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{травмування}} = \pi R_{\text{травмування}}^2 - S_{\text{загибелі}} = 3,14 \cdot 48^2 - 2826 = 4409 \text{ м}^2.$$

Визначаємо кількість постраждалих, що перебувають на відкритій місцевості N_i з урахуванням того, що щільність персоналу на території об'єкта становить 0,01 люд/м²: **(округлюємо завжди у більшу сторону)**

$$N_{\text{загибелі}} = \gamma \cdot S_{\text{загибелі}} = 0,01 \cdot 2826 = 28,26 = 29 \text{ осіб};$$

де γ – щільність персоналу на території об'єкта, чол/м².

$$N_{\text{травмування}} = \gamma \cdot S_{\text{травмування}} = 0,01 \cdot 4409 = 44,09 = 45 \text{ осіб}.$$

Визначаємо ризик травмування та загибелі людей за умови, що аварійна ситуація з формуванням вибухової ударної хвилі виникає з імовірністю:

$$P = (9+1) \times 10^{-5} = 10 \times 10^{-5} = 10^{-4}.$$

Ризик визначається за формулою:

$$R = P \cdot N$$

Ризик загибелі:

$$R_{\text{загибелі}} = P \cdot N_{\text{загибелі}} = 10^{-4} \cdot 29 = 2,9 \times 10^{-3}.$$

Ризик травмування:

$$R_{\text{травмування}} = P \cdot N_{\text{травмування}} = 10^{-4} \cdot 45 = 4,5 \times 10^{-3}$$

Література

1. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02 жовтня 2012 р. № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.
2. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ Міністерство праці та соціальної політики України від 04 грудня 2002 р. №637. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/34982_34982.
3. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007; чинний від 2017-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419.
4. ДСТУ 8647:2016. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов. [Чинний від 2017-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93147.
5. ДСТУ ISO 23932:2018. Інжиніринг пожежної безпеки. Загальні принципи (ISO 23932:2009, IDT). [Чинний від 2018-04-12]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76679.
6. ДСТУ ISO 16732-1:2018. Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 1. Загальні положення (ISO 16732-1:2012, IDT). [Чинний від 2019-10-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78554.
7. ДСТУ ISO/TR 16732-2:2018. Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 2. Приклад офісної будівлі (ISO/TR 16732-2:2012, IDT). [Чинний від 2019-10-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78555.
8. ДСТУ ISO/TR 16732-3:2018. Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 3. Приклад промислового підприємства (ISO/TR 16732-3:2013, IDT). [Чинний від 2019-10-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78556.

9. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020–01–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82138.
10. ДСТУ EN 61025:2022. Аналіз дерева несправностей (FTA) (EN 61025:2007, IDT; IEC 61025:2006, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100854.
11. ДСТУ EN 60300-3-11:2022. Керування надійністю. Частина 3-11. Посібник із застосування. Технічне обслуговування, орієнтоване на надійність (EN 60300-3-11:2009, IDT; IEC 60300-3-11:2009, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100865.
12. ДСТУ EN 61882:2022. Дослідження небезпеки та працездатності (дослідження HAZOP) – посібник із застосування (EN 61882:2016, IDT; IEC 61882:2016, IDT). [Чинний від 2023–12–31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100883.
13. ДСТУ EN IEC 31010:2022. Керування ризиками – методи оцінки ризиків (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT). [На заміну ДСТУ IEC/ISO 31010:2013; чинний від 2023–12–31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889.
14. ДСТУ EN IEC 60812:2022. Аналіз видів відмов і наслідків (FMEA і FMECA) (EN IEC 60812:2018, IDT; IEC 60812:2018, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100893.