

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут пожежної та техногенної безпеки

Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій

Курс лекцій

з навчальної дисципліни

«Основи ризик орієнтованого підходу у пожежній безпеці»

Освітньо-професійна програма «Пожежна безпека»

Спеціальність К8 «Пожежна безпека»

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Укладачі:

к.е.н. Головченко Сергій Іванович

к.т.н., доцент Григоренко Олександр Миколайович

д.т.н., професор Костенко Тетяна Вікторівна

Черкаси – 2026

Рекомендовано до друку вченою
радою навчально-наукового
інституту пожежної та техногенної
безпеки
(Протокол від 18.04.2026 р. №4)

Укладачі:

С.І. Головченко – канд. екон. наук, старший викладач, Національний
університет цивільного захисту України
О.М. Григоренко – канд. техн. наук, доцент, Національний університет
цивільного захисту України
Т.В. Костенко – д. техн. наук, професор, Національний університет
цивільного захисту України

Рецензенти:

В.В. Олійник – д. техн. наук, професор, начальник кафедри автоматичних
систем безпеки та електроустановок навчально-наукового інституту
пожежної та техногенної безпеки Національного університету цивільного
захисту України
О.О. Ченчева – д. техн. наук, доцент, доцент кафедри цивільної безпеки,
охорони праці, геодезії та землеустрою Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського

Основи ризик орієнтованого підходу у пожежній безпеці: курс
лекцій / С.І. Головченко, О.М. Григоренко, Т.В. Костенко – Черкаси:
НУЦЗ України, 2026. – 148 с.

Спрямований на формування у майбутніх фахівців пожежної безпеки системних
знань про методи ідентифікації, аналізу та кількісного оцінювання ризиків для
забезпечення нормативного рівня безпеки складних об'єктів. Курс орієнтований на
підготовку бакалаврів, здатних аналізувати фізичні процеси виникнення небезпек,
прогнозувати їхні наслідки та ефективно застосовувати ймовірнісний підхід замість
застарілої концепції «абсолютної безпеки».

У межах курсу розглядають концептуальні засади ризик-орієнтованого підходу,
методи загального оцінювання ризиків, а також теорію надійності технічних систем і
закони розподілу випадкових величин. Значна увага приділяється інженерним
розрахункам параметрів небезпечних чинників пожеж, вибухів та викидів небезпечних
хімічних речовин, а також побудові логічних схем у вигляді дерев несправностей (FTA)
та дерев подій (ETA).

Вивчення курсу створює основу для професійного становлення фахівців нового
типу, які здатні забезпечувати безпеку через призму наукового прогнозування та
раціонального використання ресурсів на основі принципу «ціна-ефективність». Це
дозволяє випускникам успішно впроваджувати державну політику у сфері цивільного
захисту, приводити ризики до прийнятних рівнів та сприяти інтеграції України в
європейську систему безпечної життєдіяльності.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лекція 1. Сутність ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці	6
Лекція 2. Методи загального оцінювання ризиків	20
Лекція 3. Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій	38
Лекція 4. Ймовірність. Розподіли випадкових величин при оцінці ризиків	54
Лекція 5. Надійність. Терміни та визначення	72
Лекція 6. Основні фактори ризику. Ідентифікація небезпек	86
Лекція 7. Розрахунок параметрів небезпечних чинників пожеж	99
Лекція 8. Розрахунок параметрів небезпечних чинників вибухів	108
Лекція 9. Розрахунок параметрів небезпечних чинників викиду небезпечних хімічних речовин	126
Лекція 10. Побудова дерева несправностей, дерева подій	140

Вступ.

Сучасний етап розвитку цивілізації характеризується стрімким ускладненням технічних систем, концентрацією енергоємних виробництв та зростанням масштабів можливих надзвичайних ситуацій (НС). Традиційна концепція «абсолютної безпеки», яка десятиліттями домінувала у нормативному полі України, на сьогодні відходить у минуле. Практика довела, що неможливо повністю виключити ймовірність аварії, проте можна і необхідно навчитися нею керувати. Саме тому перехід від жорсткого нормативного регулювання до ризик-орієнтованого підходу (РОП) став основою державної політики у сфері цивільного захисту.

Особливої актуальності РОП набуває в умовах воєнного стану. Збройна агресія спричинила переоцінку підходів до ідентифікації небезпек: сьогодні неможливо ігнорувати ймовірність завдання шкоди об'єктам через застосування боєприпасів чи інших вибухонебезпечних предметів (ВНП).

До ключових викликів сьогодення належать:

- забруднення територій ВНП, що створюють постійну загрозу персоналу та населенню.
- необхідність розрахунку не лише традиційних параметрів пожежі, а й наслідків вибухів – розльоту осколків (уламків), дії повітряної та сейсмічної ударних хвиль;
- загроза руйнування енергетичних підприємств та технологічних установок, що може призвести до масштабних вторинних НС, таких як витoki небезпечних хімічних речовин (НХР) або об'ємні вибухи.

Курс лекцій «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» побудований на поєднанні фундаментальних знань з теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії надійності технічних систем. Суть ризик-орієнтованого підходу полягає у використанні значення ризику як єдиного та визначального критерію управління безпекою об'єкта, що дозволяє:

1. ідентифікувати джерела небезпеки та встановити логічний зв'язок між відмовою окремого елемента системи (насоса, датчика, кабелю) та виникненням великомасштабної аварії;
2. обчислити ймовірність НС, застосовуючи інструментарій побудови «дерев несправностей» (FTA) та «дерев подій» (ETA), що дає наочну «карту» розвитку небезпеки;
3. прогнозувати параметри небезпечних чинників надзвичайних

ситуацій, використовуючи сучасні методики;

4. ранжувати сценарії за ступенем небезпечності, фокусуючи ресурси на тих заходах, які дають максимальний ефект у зниженні ризику до прийнятних значень їх рівнів.

Курс лекцій «Основи ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці» призначений для підготовки фахівців бакалаврського рівня, здатних не просто констатувати відповідність об'єкта нормам, а й глибоко аналізувати фізичні процеси виникнення небезпек та прогнозувати їх наслідки. Використання ймовірнісного підходу дає можливість як якісно, так і кількісно встановити рівень загроз та обрати найбільш ефективні заходи захисту.

Метою вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців пожежної безпеки системи знань про методи ідентифікації, аналізу та оцінювання ризиків для забезпечення нормативного рівня безпеки.

Вивчення цієї дисципліни дозволить майбутньому бакалавру стати фахівцем нового типу, який здатен забезпечувати безпеку складних об'єктів через призму наукового прогнозування та раціонального використання ресурсів, що є критично важливим для інтеграції України в європейську систему безпечної життєдіяльності.

Лекція 1. Сутність ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці.

План

1. Сутність ризик-орієнтованого підходу.
2. Місце ризику в нормативних документах України.
3. Поняття індивідуального, територіального та соціального ризиків.

1. Сутність ризик-орієнтованого підходу.

Впровадження ризик орієнтованого підходу (РОП) базується на засадах Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, що була схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України 22 січня 2014 р (розпорядження №37-р).

Підвищення ступеня захищеності населення і територій України від надзвичайних ситуацій, зменшення ризиків виникнення та мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру належить до пріоритетних завдань єдиної державної системи цивільного захисту.

За результатами аналізу функціонування єдиної державної системи цивільного захисту впровадження на території України сучасних принципів регулювання у сфері техногенної та природної безпеки здійснюється повільними темпами. Запровадження європейських стандартів безпечної життєдіяльності, що є однією з вимог інтеграції України в ЄС, можливе за умови реалізації концептуальних і методологічних інновацій та інституціональних перетворень.

Необхідність впровадження концептуальних засад управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій (далі – ризики) викликана наявністю небезпечних чинників техногенного та природного характеру, зокрема:

- значної кількості потенційно небезпечних об'єктів на території;
- високого рівня травматизму та смертності населення, спричиненого небезпечними подіями та нещасними випадками;
- високого рівня ризиків виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру, зумовленого глобальними та регіональними змінами клімату, зростанням сейсмічної активності тощо, а також інтенсифікацією впливу техногенної діяльності людини на навколишнє

природне середовище;

- високого рівня ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, зумовленого критичним ступенем зношеності (60-80 відсотків) основних виробничих фондів у галузях промисловості та агропромислового комплексу;

- недостатнього технічного і технологічного рівнів розвитку державної системи спостережень за небезпечними чинниками, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій.

Ураховуючи світовий досвід, найбільш ефективним є управління ризиками, яке ґрунтується на досягненні певного рівня безпеки, балансу вигод і витрат в межах окремого об'єкта, території і держави в цілому.

На сьогодні механізми управління ризиками, спрямовані на зменшення їх значень, не набули широкого практичного застосування. Так, кількісна оцінка ризиків використовується лише в окремих областях, а саме під час аналізу безпеки атомних електричних станцій, декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Разом з тим недосконалі нормативно-правові, організаційні та технічні методи управління ризиками не дають змоги сьогодні досягти рівнів ризиків, що відповідають рівням економічно розвинутих держав.

Ризик-орієнтований підхід – застосування значення ризику негативної події, що може статися на певному об'єкті чи у природному середовищі для визначення ступеню їх небезпечності та використання цього значення як єдиного з критеріїв управління.

Згідно ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять» **ризик – це комбінація ймовірності заподіяння шкоди і тяжкості цієї шкоди**. Чисельно ризик визначається за формулою:

$$R = P \cdot Q, \quad (1)$$

де P – ймовірність виникнення небезпеки;

Q – очікуваний розмір шкоди (збитку), що може завдати реалізована небезпека.

Оскільки ймовірність величина безрозмірна, ризик має вимірюватися в одиницях шкоди (збитку), заподіяної небезпекою.

Суспільне значення ризик-орієнтованого підходу можна порівняти із відкриттям мікроскопа, який дозволив деталізувати макросвіт, визначити його складові.

Ризик-орієнтований підхід дає можливість як якісно, так і кількісно

встановити рівень загроз, що несуть у собі надзвичайні ситуації, та, у загальному, робить можливим більш осмислено підходити до питання впровадження запобіжних заходів, орієнтуючись на окремі складові загрози.

Впровадження РОП дозволяє за рахунок підвищення ефективності заходів на порядок скоротити витрати на створення безпечних систем. Перехід до аналізу та управління ризиками повинен забезпечити подолання негативної тенденції до збільшення кількості надзвичайних ситуацій техногенного і природного походження.

Прийнятний (допустимий) ризик аварії — ризик, рівень якого допустимо і обґрунтований виходячи з соціально-економічних міркувань. Ризик експлуатації об'єкта є прийнятним, якщо заради вигоди, одержуваної від експлуатації об'єкта, суспільство готове піти на цей ризик.

Таким чином, прийнятний ризик являє собою деякий компроміс між рівнем безпеки і можливостями його досягнення.

Нормативна база ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та пожеж спирається на чотири основні нормативні рівні ризиків: мінімальний, допустимий, ризик, наближений до гранично допустимого, та гранично допустимий.

Прийнятний рівень ризику є ризик, менший або рівний гранично допустимого ризику, а мінімальний – це той рівень, нижче якого зниження ризику є економічно недоцільним.

Під час визначення рівнів прийнятних ризиків застосовуватимуться значення ризиків, що затверджені **Порядком управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж** (Наказ МВС України від 31.07.2023 р. № 627).

Згідно п. 10 Порядку (Наказ МВС України від 31.07.2023 р. № 627) для визначення ризиків встановлюються такі значення їх нормативних рівнів:

- **мінімальний ризик** – який дорівнює $1 \cdot 10^{-8}$;
- **допустимий ризик** – у межах від $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-5}$;
- **ризик, наближений до гранично допустимого**, – у межах від $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$;
- **гранично допустимий ризик** – який дорівнює $1 \cdot 10^{-5}$.

Ризик, значення якого нижче або дорівнює мінімальному, вважається **абсолютно прийнятним**.

Ризик, значення якого більше мінімального, але знаходиться в межах допустимого, вважається **прийнятним**.

Ризик, значення якого наближене або дорівнює гранично

допустимому, вважається *умовно прийнятним*.

Ризик, значення якого більше гранично допустимого, вважається *абсолютно неприйнятним*.

Основними завданнями ризик-орієнтованого підходу є створення реальних наукових основ організації безпеки складних технічних систем, людей і довкілля, розроблення методів оцінки небезпеки промислових об'єктів та наукових засад концепції прийнятного рівня ризику стосовно умов функціонування системи «людина-техніка-середовище».

Основними цілями застосування ризик-орієнтованого підходу є:

- Оптиміальне використання трудових, матеріальних і фінансових ресурсів, задіяних при здійсненні державного контролю;
- Зниження витрат юридичних осіб, індивідуальних підприємців;
- Підвищення результативності діяльності органів державного контролю.

Досягнення прийнятних рівнів ризиків на всій території України повинне здійснюватися поетапно.

На першому етапі необхідно визначити рівні ризиків для усіх галузей економіки, а також найбільш небезпечних джерел надзвичайних ситуацій та забезпечити їх зменшення до значень прийнятих рівнів ризику.

На другому етапі слід забезпечити досягнення рівнів ризиків на всій території України відповідно до рівнів, що використовуються в економічно розвинутих державах.

2. Місце ризику в нормативних документах України

Нормативна база:

- ДСТУ EN IEC 31010:2022 (EN IEC 31010:2019, IDT) Керування ризиками – методи оцінки ризиків;
- ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення;
- ДСТУ ISO 16732-1:2018 Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 1. Загальні положення (ISO 16732-1:2012, IDT);
- ДСТУ ISO/TR 16732-2:2018 Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 2. Приклад офісної будівлі (ISO/TR 16732-2:2012, IDT);
- ДСТУ ISO/TR 16732-3:2018 Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику. Частина 3. Приклад промислового підприємства (ISO/TR 16732-3:2013, IDT);

- Наказ МНС від 24.09.2007 р. № 659 «Про удосконалення паспортизації територій щодо ризиків виникнення надзвичайних ситуацій»;

- Наказ МВС України від 31.07.2023 р. № 627 «Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж»;

- Наказ МВС України від 13.10.2023 р. № 836 «Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж».

- Терміни та визначення, що використовуються на занятті викладено у значеннях, що наведені у:

- Кодексі цивільного захисту України (Закон Верховної Ради України від 02.10.2012 № 5403-VI);

- Розпорядженні Кабінету Міністрів України №37-р від 22.01.2014 р. «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру»;

- ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять;

- ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення;

- Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04 грудня 2002 р. №637 «Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки»;

- Наказ МВС України від 31.07.2023 р. № 627 «Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж»;

- Наказ МВС України від 13.10.2023 р. № 836 «Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж».

Терміни та визначення основних понять:

- **пожежна безпека** – відсутність неприпустимого ризику виникнення і розвитку пожеж та пов'язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю (Кодекс цивільного захисту);

- **техногенна безпека** – відсутність ризику виникнення аварій та/або катастроф на об'єктах, що можуть створити реальну загрозу їх виникнення. Техногенна безпека характеризує стан захисту населення і

територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Забезпечення техногенної безпеки є особливою (специфічною) функцією захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій (Кодекс цивільного захисту);

- **аналіз ризику** – систематичне використання інформації з метою визначення джерел небезпеки та кількісної оцінки ризику (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж);

- **ідентифікація ризику** – процес виявлення, складання переліку та опису складових ризику (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж);

- **оцінка ризику** – загальний процес порівняння кількісно оціненого ризику з нормованими значеннями ризику (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж);

- **ризик виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та пожежі** – поєднання ймовірності виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та пожежі і розміру можливих втрат (збитків) від неї (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж);

- **управління ризиками** – процес прийняття рішень і здійснення заходів, спрямованих на зменшення ризиків та мінімізацію розмірів можливих втрат (збитків) (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж);

- **план управління ризиками** – організаційно-розпорядчий документ, розроблений із метою впровадження заходів управління ризиками, спрямований на зменшення ризиків та мінімізацію розмірів можливих втрат (збитків) (Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж).

Одним із основних принципів здійснення цивільного захисту, що визначено ст. 7 Кодексу цивільного захисту України визначено є максимально можливе, економічно обґрунтоване зменшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій.

Статтею 20 Кодексу цивільного захисту України затверджено завдання і обов'язки суб'єктів господарювання.

До завдань і обов'язків суб'єктів господарювання у сфері цивільного захисту належить:

7) проведення оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах суб'єкта господарювання, здійснення заходів щодо не

перевищення прийнятних рівнів таких ризиків;

8) здійснення навчання працівників з питань цивільного захисту, у тому числі правилам техногенної та пожежної безпеки;

10) розроблення планів локалізації та ліквідації аварій та їх наслідків на об'єктах підвищеної небезпеки;

13) здійснення за власні кошти заходів цивільного захисту, що зменшують рівень ризику виникнення надзвичайних ситуацій;

Реалізація державної політики щодо впровадження ризик-орієнтованого підходу у пожежній та техногенній безпеці здійснюється з урахуванням Розпорядження Кабінету Міністрів України №37-р від 22.01.2014 р. «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».

Мета і етапи реалізації Концепції

Метою Концепції є запровадження сучасних методів управління ризиками для зменшення кількості та мінімізації соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, забезпечення досягнення гарантованого рівня безпеки громадянина і суспільства.

Концепція розрахована на довгострокову перспективу і є основою для розроблення нормативно-правових актів, загальнодержавних, регіональних та галузевих програм у сфері техногенної та природної безпеки.

Досягнення прийнятних рівнів ризиків на всій території України повинне здійснюватися поетапно.

На першому етапі необхідно визначити рівні ризиків для усіх галузей економіки, а також найбільш небезпечних джерел надзвичайних ситуацій та забезпечити їх зменшення до значень прийнятих рівнів ризику.

На другому етапі слід забезпечити досягнення рівнів ризиків на всій території України відповідно до рівнів, що використовуються в економічно розвинутих державах.

Нормування рівнів ризиків включає розроблення і затвердження норм захисту населення і територій України від надзвичайних ситуацій, правил і регламентів господарської діяльності, які визначаються на основі значень прийнятних рівнів ризику. Для кожної галузі економіки, кожного виду небезпечної виробничої діяльності, типу об'єкта, окремої території України визначаються свої нормативи мінімального та гранично допустимого рівнів ризиків.

Нормування рівнів ризиків забезпечить:

- єдність методологічних підходів до оцінки ризиків, які існують на

всій території України, та тих джерел небезпеки поза її межами, що можуть мати транскордонний вплив;

- стандартизацію методів нормування;
- врахування значущості всіх наслідків соціально-економічного, природно-ресурсного, екологічного та іншого характеру, які можуть бути спричинені очікуваними надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру;
- врахування особливостей видів виробничої діяльності, техногенного навантаження територій, природно-кліматичних особливостей, цінності окремих територій;
- галузеву і територіальну диференціацію нормативів ризиків;
- врахування всіх факторів, що впливають на величину ризиків, пов'язаних із розміщенням, будівництвом та експлуатацією потенційно небезпечних об'єктів, створенням нової техніки, технологій і матеріалів;
- періодичне коригування нормативів ризиків.

Розрізняють два підходи до оцінювання ризику: детермінований та ймовірнісний.

Суть детермінованого підходу полягає у визначенні та ранжуванні об'єктів, що несуть загрозу виникнення на них надзвичайних подій, за ступенем небезпеки на певні категорії. Прикладами можуть слугувати категорювання об'єктів за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно ДСТУ Б.В.1-1-36, віднесення суб'єкта господарювання до однієї із категорій за ступенем ризику від провадження господарської діяльності згідно Постанови КМ України № 715. Застосування детермінованого підходу дозволяє якісно оцінити ризик, проте не дає можливості знайти кількісне значення ризику впливу на людини критичних значень небезпечних факторів надзвичайних ситуацій.

Ймовірнісний підхід заснований на концепції прийнятного ризику. Він передбачає як розрахунок ймовірності виникнення НС, так і ймовірності впливу на людини критичних значень небезпечних факторів надзвичайних ситуацій з урахуванням перебування людини в зоні впливу цих факторів. На основі оцінки ризику за ймовірнісним підходом робиться порівняння отриманих значень ризику з визначеними нормативно прийнятними рівнями ризику і на основі цих значень приймають рішення і здійснюють заходи, спрямовані на зменшення ризиків та мінімізацію розмірів можливих втрат (збитків) — здійснюють управління ризиками.

Нормативним підґрунтям управління ризиками, у тому числі й техногенними та пожежними є ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 (EN ІЕС

31010:2019, IDT) «Керування ризиками – методи оцінки ризиків», а також накази МВС України № 627 від 31.07.2023 р. «Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж» та № 836 від 13.10.2023 р. «Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж».

Згідно ДСТУ EN ІЕС 31010 процес керування ризиком полягає у прийнятті рішень з урахуванням невизначеностей та можливості реалізації подій чи обставин (навмисних або ненавмисних) і їхніх впливів на узгоджені цілі. Керування ризиками передбачає застосування логічних і систематичних методів щодо обробки інформації про об'єкт в процесі оцінювання ризику, безпосередньо оцінку ризиків, критичного аналізування та моніторингу ризиків, звітування про оцінювання ризиків. Перед прийняттям управлінських рішень для керування ризиками, здійснюється визначення рівня ризику. Визначення рівня пожежної безпеки людей та індивідуального пожежного ризику здійснюється згідно методу, наведеного у додатку А ДСТУ 8828:2019 «**Пожежна безпека. Загальні положення**».

Згідно з ДСТУ 8828:2019 пожежна безпека об'єкта захисту повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та системою управління пожежною безпекою об'єкта.

Пожежна безпека об'єкта характеризується рівнем пожежної безпеки людей (запобігання впливу на них небезпечних чинників пожежі (НЧП)) та/або матеріальних цінностей, а також економічним ефектом витрат на її забезпечення, і повинна виконувати одну з таких задач:

1. мінімізувати ймовірність виникнення пожежі;
2. забезпечувати пожежну безпеку людей.

Показником оцінювання рівня забезпечення пожежної безпеки людей на об'єктах є ймовірність запобігання впливу на них небезпечних чинників пожежі, яка повинна бути не менше 0,99999 на рік у розрахунку на кожну людину, а прийнятний рівень індивідуального пожежного ризику повинен бути не більше ніж 10^{-5} в рік з розрахунку на кожну людину (додаток А ДСТУ 8828:2019).

Рівень пожежної безпеки людей визначається згідно методу, що наведено у додатку А ДСТУ 8828:2019, за формулою:

$$P_B = 1 - R_1, \quad (2)$$

де P_B – рівень пожежної безпеки людей на об'єктах;

R_1 – розрахункове значення індивідуального пожежного ризику на окрему людину в рік.

Розрахунок індивідуального пожежного ризику здійснюється на підставі:

а) аналізу пожежної небезпеки в частині чинників, що впливають на визначення сценарію виникнення та розвитку пожежі;

б) аналізу об'ємно-планувальних рішень, що впливають на визначення розрахункової схеми евакуації людей;

в) аналізу ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту;

г) вибору розрахункового методу.

Розрахункове значення індивідуального пожежного ризику R_I є прийнятним, якщо:

$$R_I \leq R_I^H, \quad (3)$$

де R_I^H – нормоване значення прийнятного рівня індивідуального пожежного ризику.

Розрахункове значення індивідуального пожежного ризику в будівлі чи споруді визначається як максимальне значення індивідуального пожежного ризику з розглянутих сценаріїв пожежі:

$$R_I = \max\{R_{I,1}, \dots, R_{I,i}, \dots, R_{I,N}\}, \quad (4)$$

де $R_{I,i}$ – розрахункове значення індивідуального пожежного ризику для i -го сценарію пожежі;

N – кількість розглянутих сценаріїв пожежі.

Під час розрахунку розглядаються сценарії пожежі, за яких реалізуються найгірші умови для евакуації людей та/або з найбільш високою динамікою наростання НЧП.

Рівень індивідуального пожежного ризику можна знизити за допомогою застосування відповідних засобів протипожежної техніки та заходів організаційно-управлінської системи.

Рівень ризику виникнення пожежі на об'єкті визначається за методом наведеним в додатку Б ДСТУ 8828:2019.

Економічний ефект витрат на забезпечення пожежної безпеки

об'єкту визначається як різниця вартісної оцінки попереджених втрат від пожежі за розрахунковий період та вартісної оцінки витрат на реалізацію заходів щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкту за цей самий період.

Ризик виникнення пожежі від (в) електричного або іншого одиничного технологічного виробу або обладнання при їх розробці і виготовленні не повинен перевищувати значення 10^{-6} на рік.

Як бачимо, ймовірнісний підхід до оцінювання рівня ризику є більш досконалим, ніж детермінований, проте вимагає всебічного аналізу небезпечних виробничих факторів, надійності обладнання та засобів протипожежного захисту, ймовірності виникнення небезпечних подій та ін., проте дозволяє отримати розгорнуту «карту» реалізації небезпеки, що в свою чергу, дозволяє виявляти оптимальні рішення для забезпечення нормативного значення рівня ризику. Об'єктом дослідження дисципліни «Основи ризик орієнтованого підходу у пожежній безпеці» є саме вивчення ймовірнісного підходу оцінки ризиків.

3. Поняття індивідуального, територіального та соціального ризиків.

Згідно Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) (Затверджені наказом Мінпраці від 4.12.2002 р. №637) розрізняють три основні показники ризику аварії:

- індивідуальний ризик – ймовірність загибелі людини, що знаходиться в даному регіоні, від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки протягом року з урахуванням ймовірності її перебування в зоні ураження;

- територіальний ризик – ймовірність загибелі протягом року людини, яка знаходиться в конкретному місці простору, від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки;

- соціальний ризик – ймовірність загибелі людей понад певну кількість (або очікувана кількість загиблих) у даному регіоні протягом року від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки, з урахуванням ймовірності їх перебування в зоні ураження.

Для життя людини рекомендується вважати неприйнятним:

$R_t > 10^{-5}$ – для територіального ризику за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один ОПН;

$R_i > 10^{-6}$ – для індивідуального ризику – для людини, яка

знаходиться у конкретному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один ОПН (місті, селищі, селі, на території промислової зони підприємств та організацій тощо);

$R_S > 10^{-5}$ – для соціального ризику загибелі понад 10 чоловік протягом одного року у визначеному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один ОПН (місті, селищі, селі, на території підприємств та організацій).

Як критерій соціального ризику може використовуватися також очікувана кількість загиблих у визначеному регіоні за межами санітарно-захисної зони підприємства, яке має у своєму складі хоча б один ОПН (місті, селищі, селі, на території підприємств та організацій, які знаходяться в промисловій зоні тощо) на 1000 жителів $\overline{M}_D \leq 10^{-3}$.

У всіх випадках ризик аварій на ОПН для населення рекомендується вважати абсолютно прийнятним при рівнях:

- територіального ризику – $R_t \leq 10^{-7}$;
- індивідуального ризику – $R_i \leq 10^{-8}$;
- соціального ризику – $R_S \leq 10^{-7}$ або $\overline{M}_D \leq 10^{-5}$.

В усіх випадках прийнятний ризик, що встановлюється органами виконавчої влади у регіонах, не повинен перевищувати наведених рівнів.

Висновок. Ризик – це комбінація ймовірності заподіяння шкоди і тяжкості цієї шкоди. Основними завданнями ризик-орієнтованого підходу є створення реальних наукових основ організації безпеки складних технічних систем, людей і довкілля, розроблення методів оцінки небезпеки промислових об'єктів та наукових засад концепції прийнятного рівня ризику стосовно умов функціонування системи «людина-техніка-середовище». Головною метою управління ризиками є підвищення рівня забезпечення безпеки у державі, яке полягає у зміні суті цієї діяльності, а саме, в переході від забезпечення «захищеності» населення та територій до забезпечення «нормативного рівня цієї захищеності».

Впровадження наведених у лекції нормативних документів та їх основних положень свідчить про поступовий перехід до ймовірнісного підходу оцінювання ризиків, що спирається на концепції прийнятного ризику. Ймовірнісний підхід до оцінювання рівня ризику є більш досконалим проте вимагає ширшої компетенції фахівців, що задіяні в його реалізації.

Питання для самоконтролю

1. Що таке ризик?

2. У чому полягає сутність ризик-орієнтованого підходу?
3. Яке основне завдання ризик-орієнтованого підходу?
4. Дати характеристику поняттю «прийнятний (допустимий) ризик аварії».
5. Обґрунтувати необхідність впровадження РОП.
6. Яка основна мета управління ризиками?
7. Основні принципи управління ризиками.
8. Значення нормативних рівнів ризиків?
9. Який ризик є абсолютно прийнятним?
10. Який ризик є прийнятним?
11. Який ризик є умовно прийнятним?
12. Який ризик є абсолютно неприйнятним?
13. Дайте визначення терміну «пожежна безпека».
14. Дайте визначення терміну «техногенна безпека».
15. Дайте визначення терміну «аналіз ризику».
16. Дайте визначення терміну «ідентифікація ризику».
17. Дайте визначення терміну «оцінка ризику».
18. Дайте визначення терміну «ризик виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та пожежі».
19. Дайте визначення терміну «управління ризиками».
20. Дайте визначення терміну «план управління ризиками».
21. Значення прийнятного рівня індивідуального пожежного ризику?
22. Навести визначення поняття «індивідуальний ризик».
23. Навести визначення поняття «територіальний ризик».
24. Навести визначення поняття «соціальний ризик».
25. Навести значення неприйнятних рівнів для індивідуального, територіального та соціального ризиків.

Рекомендована 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 схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. №37-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#Text>.
3. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04 грудня 2002 р. №637. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/34982___34982.
4. Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 31 липня 2023 р. № 627. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>.

5. Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 13 жовтня 2023 р. № 836. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>.

6. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2006–10–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=29684.

7. 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.

8. ДСТУ EN ІЕС 31010:2022. Керування ризиками – методи оцінки ризиків (EN ІЕС 31010:2019, ІДТ; ІЕС 31010:2019, ІДТ). [На заміну ДСТУ ІЕС/ІСО 31010:2013; чинний від 2023–12–31]. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889.

9. Григоренко О. М., Ключка Ю. П., Липовий В. О. Аналіз стану нормативної бази України з розрахунку соціального ризику та вплив його параметрів на величину ризику. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2017. № 25. С. 57–62. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1464>.

Лекція 2. Методи загального оцінювання ризиків.

План

1. Методи загального оцінювання ризику.
2. Вибір методів загального оцінювання ризику.
3. Опис методів загального оцінювання ризику.

1. Методи загального оцінювання ризику.

Настанови щодо вибирання та застосування систематичних методів загального оцінювання ризику наведено у ДСТУ EN ІЕС 31010:2022.

Для аналізу і оцінки ризику існують різні методи, серед яких найбільше поширення одержали:

- мозкова атака (мозковий штурм);
- структуроване або напівструктуроване опитування;
- метод Делфі;
- переліки контрольних завдань;
- попереднє аналізування небезпечних чинників небезпек (РНА);
- дослідження небезпечних чинників і працездатності (HAZOP);
- аналізування небезпечних чинників і критичних контрольних точок (НАССР);
- структурований метод «що – якщо?» (метод SWIFT);
- аналізування сценаріїв;
- аналізування першопричини;
- аналізування дерева відмов (FTA);
- аналізування дерева подій (ETA);
- аналізування причин та наслідків;
- аналізування дерева рішень;
- аналізування за схемою «краватка-метелик»;
- марковське аналізування;
- імітаційне моделювання за методом Монте-Карло;
- Байєсова статистика і мережі Байєса;
- криві FN;
- показники ризику;
- матриця «наслідок-ймовірність» та ін.

Кожний з названих методів має свої переваги та недоліки і використовується в цілком конкретних ситуаціях, універсального методу,

прийняттого для усіх випадків не існує.

Методи загального оцінювання ризиків можна розділити на **якісні** та **кількісні**.

Якісний метод оцінювання ризиків виникнення НС – процес аналізу результатів їх ідентифікації, а також визначення подій (вихідних даних), які становлять найбільшу частку в загальному ризику і які потребують вжиття заходів щодо їх зменшення (мінімізації).

Для оцінювання ризиків виникнення НС використовуються якісні методи оцінювання, що визначені у ДСТУ 31010, зокрема: аналізування сценарію; Делфі; матриця «наслідок-ймовірність»; дерево рішень; аналізування виду, наслідків і критичності відмов (FMEA та FMECA); загальне оцінювання надійності людини (HRA); дослідження небезпечних чинників і працездатності (HAZOP); аналізування рівнів захисту (LOPA); структурований метод «Що - якщо» (SWIFT).

Кількісний метод оцінювання ризиків виникнення НС – процес визначення значень ймовірності виникнення НС, розміру можливих збитків (втрат) від них і подальше порівняння з нормованими значеннями ризику.

Кількісний метод оцінювання ризиків виникнення НС обов'язково застосовується для випадків, якщо за результатами оцінювання якісним методом значення ризику наближено до гранично допустимого значення ризику або більше за нього.

Для оцінювання ризиків виникнення НС використовуються кількісні методи оцінювання, визначені у ДСТУ 31010, зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

2. Вибір методів загального оцінювання ризику.

Загальне оцінювання ризику можна провадити зі зміненням ступенів глибини та докладності, а також з використанням одного чи кількох методів – від найпростіших до найскладніших. При цьому необхідно, щоб форма загального оцінювання та його результат було узгоджено з критеріями ризику, розробленими під час установлювання оточення.

Загалом вимоги до придатності обраного методу наступні:

- він має бути обґрунтованим і доречним для розгляданих ситуацій чи організації;
- він має забезпечувати отримання результатів у формі, яка

уможливилює краще розуміння характеру ризику та способу, у який його може бути оброблено;

- його застосування має бути таким, щоб його можна було простежити, відтворити чи перевірити.

Обґрунтовуючи вибір методів, треба враховувати їхню відповідність і придатність. У разі поєднання результатів різних досліджень треба, щоб застосовувані методи та отримані вихідні дані можна було порівняти.

Після того, як прийнято рішення про провадження загального оцінювання ризику і визначено цілі та сферу застосування, треба вибрати методи, зважаючи на такі чинники:

- цілі дослідження. Цілі загального оцінювання безпосередньо позначатимуться на виборі застосовуваних методів. Наприклад, якщо провадять порівняльне дослідження різних варіантів, то прийнятним може бути використання менш докладних моделей наслідків для частин системи, на які не впливають відмінності;

- потреби тих, хто приймає рішення. У деяких випадках потрібен високий рівень докладності для прийняття оптимального рішення, в інших випадках достатнім є загальне розуміння;

- тип і діапазон аналізованих ризиків;

- потенційна величина наслідків. Рішення щодо глибини загального оцінювання ризику має відображати первісне сприйняття наслідків (хоча може виявитися необхідним змінити його після завершення попереднього оцінювання);

- ступінь фахової компетентності, потреба в людських та інших ресурсах. Простий, належно запроваджений метод, якщо він задовольняє цілі та сферу застосування загального оцінювання, може давати кращі результати, ніж складніша, але недостатньо опрацьована процедура. Зазвичай треба, щоб витрати на загальне оцінювання були сумірними з потенційним рівнем аналізованого ризику;

- наявність інформації та даних. Для деяких методів потрібно більше інформації та даних, ніж для інших;

- потреба модифікувати чи актуалізувати загальне оцінювання ризику. Надалі загальне оцінювання може бути потрібно модифікувати чи актуалізувати і у зв'язку з цим деякі методи більш придатні до вдосконалення, ніж інші;

- будь-які регуляторні чи контрактні вимоги.

На вибирання підходу до загального оцінювання ризику впливають різноманітні чинники, наприклад, наявність ресурсів, характер і ступінь

невизначеності наявних даних та інформації, складність випадку застосування.

Ресурси та можливості, які можуть впливати на вибір методів загального оцінювання ризику, охоплюють:

- компетентність, досвід, здібності та можливості групи загального оцінювання ризику;
- обмеження щодо часу та інших ресурсів організації;
- наявний бюджет у разі, якщо будуть потрібні зовнішні ресурси.

Щоб визначити характер і ступінь невизначеності, потрібне розуміння щодо якості, кількості та повноти наявної інформації щодо розгляданого ризику. Це стосується також меж достатності наявної інформації про ризик, його джерела та причини, а також про наслідки для досягнення цілей. Невизначеність може бути зумовлено низькою якістю даних або нестачею значимих і вірогідних даних. Наприклад, можуть змінюватися як методи збирання даних, так і спосіб, у який організація застосовує ці методи, чи організація може зовсім не мати запровадженого результативного методу збирання даних про ідентифікований ризик.

Невизначеність може також бути притаманна зовнішньому та внутрішньому оточенню організації. Наявні дані не завжди забезпечують надійну основу для прогнозування майбутнього. Для унікальних типів ризиків хронологічних даних може не бути або різні зацікавлені сторони можуть по-різному інтерпретувати наявні дані. Особи, які провадять загальне оцінювання ризику, мають розуміти тип і характер невизначеності та зважати на наслідки щодо вірогідності результатів загального оцінювання ризику. Про ці аспекти треба завжди інформувати тих, хто приймає рішення.

За своїм характером ризику можуть бути комплексними, наприклад, у складних системах, де потрібне здебільшого загальне оцінювання ризиків у межах усієї системи, аніж оброблення кожного складового елемента системи окремо, нехтуючи взаємодіями. В інших випадках оброблення окремого ризику може мати наслідки де-небудь ще і може впливати на інші види діяльності. Потрібно розуміти подальші значні впливи та взаємозалежності між ризиками, щоб мати впевненість у тому, що під час керування одним ризиком не створюватиметься недопустима ситуація де-небудь ще. Розуміння комплексності окремого ризику чи сукупності ризиків організації конче важливе для вибирання належних методів або методик загального оцінювання ризику.

Методи загального оцінювання ризику можна класифікувати

різноманітними способами, щоб полегшити розуміння їхніх відносно сильних і слабких аспектів. Опис деяких із методів докладніше розглянемо нижче.

3. Опис методів загального оцінювання ризику.

Мозкова атака

Мозкову атаку застосовують, щоб стимулюванням та заохочуванням до вільного обговорення в групі компетентних осіб ідентифікувати потенційні види відмов і асоційовані з ними небезпечні чинники, ризики, критерії прийняття рішень і/або варіанти оброблення. Термін «мозкова атака» часто досить довільно вживають на означення будь-якого типу групового обговорення. Однак, справжня мозкова атака передбачає застосування спеціальних прийомів, спрямованих на те, щоб активізувати творче мислення одних учасників за допомогою ідей та висловлювання інших членів групи.

Дуже важливу роль у цьому методі відіграє результативне координування, яке полягає у тому, щоб стимулювати обговорення на початковому етапі, періодично спрямовувати увагу групи на інші відповідні сфери та виявляти проблеми, що виникають під час обговорювання (яке зазвичай є досить жвавим).

Мозкову атаку можна застосовувати спільно з іншими методами загального оцінювання ризику або окремо як методику стимулювання творчого мислення на будь-якій стадії процесу керування ризиком і будь-якій стадії життєвого циклу системи. Її можна застосовувати для обговорення на високому рівні, де ідентифікують проблеми, для докладнішого критичного аналізування або на рівні подання докладних даних, пов'язаних з конкретними проблемами.

Мозкова атака надає вирішального значення творчому мисленню. Тому вона особливо корисна під час ідентифікування ризиків, пов'язаних з новими технологіями, коли даних немає чи коли необхідно віднайти новаторські рішення проблем.

Мозкова атака може бути формалізованою чи неформалізованою. Формалізована мозкова атака більш структурована, коли заздалегідь підготовлено учасників, визначено ціль і завдання засідання, передбачено способи оцінювання ідей, що їх висуватимуть. Неформалізована мозкова атака менш структурована і часто ситуативніша.

За формалізованого процесу:

- до початку засідання координатор готує для обміркування підказки та навідні питання відповідно до конкретного випадку;

- визначають цілі засідання та пояснюють правила;

- координатор задає напрям обміркування і кожний учасник розглядає подані ідеї, визначаючи якнайбільше можливих проблемних питань. На цьому етапі не обговорюють те, треба чи не треба долучати ще щось до переліку, або те, що розуміють під конкретними висловлюваннями, оскільки ця ситуація має тенденцію утруднювати вільний хід обговорення. Приймають усі вхідні дані, жодну з них не піддають критиці, і група швидко продовжує обговорення, щоби цими ідеями уможливити ініціювання нестандартного мислення;

- коли один напрям обміркування вичерпано чи обговорення занадто відхилилося, координатор може задати учасникам новий напрям обговорення. Однак ідеться про те, щоб зібрати якнайбільше різноманітних ідей для подальшого аналізування.

Вихідні дані залежать від стадії процесу керування ризиком, на якій цей метод застосовують, наприклад, на стадії ідентифікування вихідними даними може бути перелік ризиків і поточних засобів контролювання.

Переваги мозкової атаки:

- вона стимулює творче мислення, даючи змогу ідентифікувати нові ризики та оригінальні рішення;

- вона уможлиблює залучення ключових зацікавлених сторін і, тому, сприяє загальному обмінюванню інформацією;

- її можна відносно швидко та легко запровадити.

Обмеженості:

- учасникам може бракувати компетентності та знань, щоби робити результативний внесок;

- через її відносну неструктурованість важко продемонструвати, що процесом враховано всі потенційні ризики;

- у конкретній групі може бути певна динаміка обговорення, коли деякі особи з цінними ідеями не висловлюються, а інші домінують в обговоренні.

Цю ситуацію можна долати за допомогою комп'ютеризованої мозкової атаки з використанням чат-форумів або методу номінальної групи. Комп'ютеризовану мозкову атаку можна налаштувати так, щоби вона була анонімною, даючи змогу уникати питань, які можуть перешкоджати вільному обговоренню ідей. За методом номінальної групи ідеї надходять до координатора анонімно і потім їх обговорюють усі учасники групи.

Метод HAZOP

HAZOP – це акронім словосполучення «дослідження небезпечних чинників і працездатності» (HAZard and OPerability study). Це метод структурованого та систематизованого дослідження планованих або наявних продукції, процесу, процедури чи системи. Він дає змогу ідентифікувати ризики для персоналу, устаткування, довкілля та/або цілей організації. Від дослідницької групи очікують також вироблення, в усіх можливих випадках, рішення щодо оброблення конкретного ризику.

HAZOP – якісний метод, базований на використанні керуючих слів, за допомогою яких формулюють питання, щоб визначити, якою мірою завдання проектування чи умови функціонування може бути не досягнуто на кожному етапі проекту, процесу, процедури чи системи. Зазвичай дослідження здійснює багатодисциплінарна група під час кількох засідань.

Метод HAZOP дає змогу ідентифікувати види відмов процесу, системи чи процедури, їхні причини та наслідки. Відмінність полягає в тому, що група розглядає небажані результати та відхили від передбачуваних результатів і станів, а потім діє у зворотному порядку, розглядаючи можливі причини та види відмов, тоді як FMEA починається з ідентифікування видів відмов.

Процес HAZOP може стосуватися всіх видів відхилів від проектного задуму внаслідок недосконалості проекту, складників, запланованих процедур і дій персоналу.

Дослідження HAZOP зазвичай провадять на стадії докладного проектування, коли є повна схема передбачуваного процесу, але ще може бути внесено зміни до проекту. Однак його можна провадити в межах послідовного підходу із застосуванням керувальних слів на кожній стадії докладного проектування.

Визначальні вхідні дані для дослідження HAZOP – це поточна інформація про систему, процес або процедуру, що підлягають критичному аналізуванню, а також ціль проекту та технічні характеристики проєктованого об'єкта. Вхідні дані можуть охоплювати: кресленики, документи технічних вимог, технологічні карти, логічні діаграми і блок-схеми керування процесом, компонувальні кресленики, процедури функціонування й технічного обслуговування, а також процедури аварійного реагування. Якщо дослідження HAZOP не пов'язано з технічними засобами, вхідними даними можуть бути будь-які документи, які описують функції та елементи досліджуваних системи чи процедури.

У межах HAZOP розглядають проект і технічні умови (специфікації)

досліджуваних процесу, процедури чи системи, критично аналізують кожен їхню частину, щоб виявити, які відхилення від передбаченого функціонування можуть виникнути, і визначити потенційні причини та можливі наслідки певного відхилення. Цього досягають систематичним дослідженням того, як кожна частина системи, процесу чи процедури реагуватиме на змінення в основних параметрах, використовуючи належні настановні слова. Можна адаптувати настановні слова щодо конкретних системи, процесу чи процедури або використовувати узагальнені слова, які охоплюють усі види відхилів.

Типові етапи дослідження HAZOP:

- призначення особи, наділеної необхідними відповідальністю та повноваженнями для проведення дослідження HAZOP і для забезпечення того, щоб усі дії, що впливають з дослідження, було виконано;

- визначення цілей і сфери дослідження;

- установлення набору ключових слів або настановних слів, доречних для дослідження;

- формування групи з HAZOP. Ця група зазвичай є багатодисциплінарною. У складі групи мають бути проєктанти й експлуатаційники з відповідною технічною компетентністю, щоб оцінювати наслідки відхилів від задуманого чи фактичного проєкту. До складу групи рекомендовано залучати осіб, які не пов'язані безпосередньо з проєктом або системою, процесом чи процедурою, підданих критичному аналізуванню;

- збирання необхідної документації.

У межах технічного семінару дослідницька група виконує:

- розділення системи, процесу чи процедури на дрібніші елементи, на підсистеми, підпроцеси чи піделементи, щоб забезпечити предметніше критичне аналізування;

- погоджування призначеності проєкту для кожної підсистеми, кожного підпроцесу чи піделемента і потім для кожного їхнього об'єкта, послідовно застосовуючи настановчі слова, щоб теоретично припустити можливі відхилення, які матимуть небажані результати;

- погоджування причини та наслідків у кожному випадку, щодо якого ідентифіковано небажаний результат, і вироблення пропозицій щодо можливого способу їх оброблення, щоб запобігти їх виникненню чи пом'якшити наслідки, якщо вони є;

- документування обговорення й погодження конкретних дій з оброблення ідентифікованих ризиків.

Аналізування методом HAZOP має такі переваги:

- є засобом систематичного та ретельного досліджування системи, процесу чи процедури;
- передбачає формування багатодисциплінарної групи із залученням осіб, які мають досвід практичної роботи, і тих, які здатні виконувати дії з обробляння ризиків;
- уможливорює генерування рішень і дій щодо обробляння ризиків;
- застосовне до широкого спектра систем, процесів і процедур;
- дає змогу явно розглядати причини та наслідки людських помилок;
- забезпечує письмове протоколювання процесу, який можна використовувати для демонстрування належної старанності.

Аналізування методом HAZOP має такі обмеженості:

- докладне аналізування може потребувати багато часу і, тому, дорого коштувати;
- докладне аналізування вимагає високого рівня документування чи специфікування системи чи процесу, або процедури;
- може бути зосереджено здебільшого на пошуку докладних рішень, а не на критичному розгляді основоположних припущень (однак ці прояви може бути зменшено за поетапного підходу);
- обговорення може бути зосереджено на подробицях проекту, а не на ширших чи зовнішніх питаннях;
- обмежено (ескізним) проектом і призначеністю проекту, а також сферою застосування та цілями, запропонованими групі;
- процес значною мірою спирається на фаховий досвід проектувальників, яким може бути важко залишатися достатньо об'єктивними у виявленні проблем у їхніх проектах.

Структурований метод «Що - якщо» (SWIFT)

Методику SWIFT спочатку було розроблено як спрощений альтернативний варіант HAZOP. Це – системне дослідження, яке провадить група спеціалістів із застосуванням набору «навідних» слів або фраз, що їх використовує координатор під час робочого засідання, щоб стимулювати ідентифікування ризиків з боку учасників. Координатор і група використовують стандартні фрази типу «що трапиться, якщо» у поєднанні з навідними фразами, щоб дослідити, як на систему, технічний об'єкт, організацію чи процедуру впливатимуть відхилення від нормального функціонування та поведіння. Методику SWIFT, на відміну від методики

HAZOP, застосовують зазвичай на рівні систем за нижчого рівня докладності.

Хоча методику SWIFT спочатку було розроблено для дослідження небезпечних чинників на підприємствах хімічної та нафтохімічної промисловості, зараз її широко застосовують до систем, технічних об'єктів, процедур і організацій загалом. Зокрема, її застосовують для дослідження наслідків якихось змін, а також ризиків, які через це можуть виникнути чи теж зазнати змін.

Перед початком дослідження треба ретельно визначити систему, процедуру, технічний об'єкт і/або зміну. Зовнішнє та внутрішнє оточення визначає координатор за допомогою опитувань, а також вивченням документів, планів і креслень. Зазвичай, досліджувані об'єкт, ситуацію чи систему розбивають на вузли чи ключові елементи, щоб полегшити процес аналізування, але це рідко відбувається на рівні визначення, необхідного для HAZOP.

Інші ключові вхідні дані – це компетентність і практичний досвід членів дослідницької групи, яку треба ретельно формувати. Потрібно, щоб разом з тими, хто має практичний досвід стосовно подібних об'єктів, систем, змін або ситуацій, було представлено, за можливості, усі зацікавлені сторони.

Загальний процес оцінювання ризику методом SWIFT наступний:

a. перед початком дослідження координатор готує належний перелік навідних фраз і слів, який може бути базований на стандартному наборі або розроблено так, щоб уможливити всебічний огляд небезпечних чинників або ризиків;

b. на робочому засіданні обговорюють і погоджують зовнішнє та внутрішнє оточення, пов'язані з об'єктом, системою, зміною чи ситуацією, а також сферу застосування дослідження;

c. координатор пропонує учасникам навести та розглянути

- відомі ризики та небезпечні чинники;
- попередній досвід та інциденти;
- відомі та наявні засоби контролювання та захисту;
- регуляторні вимоги та обмеження;

d. обговорення координують запитаннями, у формулюванні яких використано фразу типу «що - якщо» і навідне слово чи тему. Варіанти використовуваних фраз типу «що - якщо» такі: «що відбуватиметься, якщо...?», «чи може хтось чи щось...?», «чи хтось або щось вже...?». Намір – стимулювати дослідницьку групу до вивчення потенційних варіантів

розвитку подій, їхніх причин, наслідків і впливів;

е. ризики підсумовують і група розглядає вже запроваджені засоби контролювання;

ф. група затверджує опис ризику, його причин, наслідків і передбачених засобів контролювання та складає відповідні протоколи;

г. група розглядає адекватність і результативність засобів контролювання та погоджує виклад щодо результативності контролювання ризику. Якщо результативність незадовільна, то група глибше розглядає завдання щодо оброблення ризику, визначаючи потенційні засоби контролювання;

h. під час обговорення ставлять конкретніші запитання типу «що - якщо», щоб ідентифікувати додаткові ризики;

і. координатор, використовуючи перелік навідних слів, відстежує хід обговорення і пропонує для обговорення в групі додаткові питання та варіанти розвитку подій;

j. звичайною практикою є використання якісного чи напівкількісного методу загального оцінювання ризику, щоб ранжувати передбачені дії за їхньою пріоритетністю. Це загальне оцінювання ризику зазвичай провадять з урахуванням наявних засобів контролювання та їхньої результативності.

Вихідними даними під час оцінки ризику методом SWIFT є реєстр ризиків з діями чи завданнями, ранжованими за ризиком. Потім ці завдання можуть бути основою плану оброблення.

Переваги SWIFT:

- широка застосовність до всіх видів технічних об'єктів або систем, ситуацій чи обставин, організацій або діяльності;
- потребує мінімального підготування членами групи;
- є відносно швидким, а основні небезпечні чинники та ризики швидко стають очевидними під час робочого засідання;
- дослідження «системно зорієнтовано» і дає змогу учасникам побачити, як система реагує на відхили, а не просто дослідити наслідки відмови окремих складників;
- можна використовувати для визначення можливостей щодо поліпшення процесів і систем і, загалом, для визначення дій, які ведуть до успіху та збільшують його ймовірність;
- передбачає участь у засіданнях осіб, відповідальних за наявні засоби контролювання та за подальші дії щодо оброблення ризиків, збільшує їхню відповідальність;

- дає змогу скласти реєстр ризиків і, за незначного доробляння, – план обробляння ризиків;

- дає змогу ідентифікувати ризики та небезпечні чинники так, щоб результати можна було застосовувати для кількісного дослідження, тоді як, зазвичай, для оцінювання ризику та визначання пріоритетності відповідних дій використовують якісну чи напівкількісну форму ранжування ризику.

Обмеженості SWIFT:

- результативність залежить від досвіду та кваліфікації координатора;

- потреба в ретельному підготовленні, щоб не втрачати часу на робочих засіданнях групи;

- якщо досвід групи недостатній або якщо система навідних фраз не всебічна, деякі ризики чи небезпечні чинники може бути не ідентифіковано;

- застосування методу на загальному рівні може не давати змоги виявити складні, докладні чи взаємопов'язані причини.

Аналізування видів і наслідків відмов (FMEA) і аналізування видів, наслідків і критичності відмов (FMESA)

Аналізування видів і наслідків відмов (FMEA) – метод, використовуваний для визначення того, як складники, системи чи процеси можуть ставати непридатними до функціонування за проектною призначеністю.

FMEA дає змогу ідентифікувати:

- усі потенційні види відмов різних частин системи (вид відмови визначають, беручи до уваги спостережувані збої чи неналежне функціонування);

- впливи, що їх ці відмови можуть чинити на систему;

- чинники виникнення відмов;

- способи уникнення відмов і/або зменшування їхніх впливів на систему.

FMESA розширює FMEA, охоплюючи ранжування кожного ідентифікованого виду відмови відповідно до його важливості чи критичності.

Це аналізування критичності зазвичай якісне чи напівкількісне, але уможливорює також кількісне подання за використання даних щодо фактичної інтенсивності відмови.

Є кілька сфер застосування FMEA: FMEA проекту (чи продукції), яке застосовують стосовно складників і продукції; FMEA системи, яке застосовують стосовно систем; FMEA процесу, яке застосовують стосовно виробничих і складальних процесів; FMEA послуги і FMEA програмного забезпечення.

FMEA і FMECA можна використовувати для:

- сприяння вибиранню альтернативних проектних рішень з високою надійністю;
- забезпечення розглядання всіх видів відмови систем і процесів, а також їхніх впливів на успішне функціонування;
- ідентифікування видів і наслідків помилок людини;
- забезпечення основи для планування випробування й технічного обслуговування технічних систем;
- поліпшення проектування процедур і процесів;
- отримання якісної та кількісної інформації для методів аналізування, наприклад, аналізування дерева відмов.

За допомогою FMEA і FMECA можна отримати вхідні дані для інших методів аналізування, наприклад, аналізування дерева відмов як на якісному, так і на кількісному рівні.

Для FMEA і FMECA потрібна досить докладна інформація про елементи системи, щоб уможливити змістовне аналізування способів, у які кожний елемент може виходити з ладу. У разі докладного FMEA проекту елемент може перебувати на рівні докладності, що відповідає окремому складові, тоді як у разі FMECA системи вищого рівня елементи може бути визначено на більш високому рівні узагальнення.

Інформація може охоплювати:

- кресленики чи блок-схему аналізованої системи та її складників, або етапи функціонування процесу;
- основні відомості про функціонування кожного етапу процесу чи складника системи;
- докладні відомості про параметри середовища та інші параметри, які можуть позначатися на функціонуванні;
- основні відомості про результати конкретних відмов;
- хронологічні дані про відмови, зокрема дані щодо інтенсивності відмов, якщо вони наявні.

Процес FMEA:

- a. визначити сферу застосування та цілі дослідження;
- b. сформувати групу;

с. з'ясувати основні відомості про систему чи процес, що їх піддаватимуть FMECA;

d. розкласти систему на складники чи етапи функціонування;

e. визначити функції на кожному етапі чи кожний складник;

f. визначити для кожного визначеного складника чи етапу:

- як кожна частина може ймовірно вийти з ладу?
- які чинники можуть зумовити ці види відмови?
- якими можуть бути наслідки в разі виникнення відмови?
- чи є відмова нешкідливою чи руйнівною?
- як виявляють відмову?

g. ідентифікувати властиві для проекту заходи, щоб компенсувати відмову.

У разі FMECA дослідницька група має класифікувати кожний з ідентифікованих видів відмови відповідно до його критичності.

Це може бути здійснено кількома способами. Загальноприйняті методи враховують таке:

- показник критичності виду;
- рівень ризику;
- число пріоритетності ризику.

Критичність виду відмови – міра ймовірності того, що розглядааний вид зумовить відмову системи загалом; визначають як:

$$\underline{(\text{Ймовірність наслідку відмови})} \times \underline{(\text{Інтенсивність виду відмови})} \times \underline{(\text{Тривалість функціонування системи})}$$

Цю модель найчастіше застосовують до відмов устаткування, щодо яких кожний з цих членів може бути визначено кількісно, і для всіх видів відмови буде такий самий наслідок.

Рівень ризику одержують, поєднуючи наслідки виду відмови та ймовірність відмови. Його використовують, коли наслідки різних видів відмови різняться один від одного та його може бути застосовано до пов'язаних з устаткуванням систем або процесів. Рівень ризику може бути подано якісно, напівкількісно чи кількісно.

Число пріоритетності ризику (RPN) – напівкількісна міра критичності, яку одержують множенням чисел ранжувальних шкал (зазвичай між 1 та 10), що відповідають наслідку відмови, на правдоподібність відмови і спроможність виявити проблему. (Якщо відмову важко виявити, то їй надають найвищий пріоритет). Цей метод використовують найчастіше в діяльності щодо забезпечення якості.

Після того як ідентифіковано види відмов і чинники їх виникнення,

може бути визначено та виконано коригувальні дії щодо значніших видів відмови.

FMEA задокументовують у звіті, у якому наводять:

- докладні відомості про систему, яку аналізували;
- спосіб, у який проведено аналізування системи;
- припущення, зроблені під час аналізування;
- джерела даних;
- результати, зокрема заповнені робочі аркуші;
- критичність (якщо розглядали) і методологію, використану для її визначення;
- будь-які рекомендації щодо подальших поглиблених аналізувань, змін у проекті чи функцій, які треба долучити до планів випробування тощо.

Після виконання передбачених дій можна провести повторне загальне оцінювання системи, здійснивши ще один цикл FMEA.

Основні вихідні дані FMEA – перелік видів відмов, чинників виникнення відмов і наслідків для кожного складника чи етапу функціонування системи або процесу (до якого може бути внесено інформацію про правдоподібність відмови). Також подають інформацію про причини відмови та про її наслідки для системи загалом. Вихідні дані FMECA охоплюють оцінку важливості, базовану на правдоподібності відмови системи, рівень ризику, зумовлений видом відмови, або комбінацію рівня ризику та «можливості виявлення» виду відмови.

Якщо використано придатні дані щодо інтенсивності відмови та кількісно поданих наслідків, FMECA дає змогу одержати кількісні вихідні дані.

Переваги FMEA/FMECA:

- широка придатність до видів відмов, пов'язаних з людиною, устаткуванням та системами, а також до технічних засобів, програмних засобів і процедур;
- змога ідентифікувати види відмов складників, їхні причини та їхні наслідки для системи, а також подавати їх у зручному для сприйняття форматі;
- змога уникати затратних змін експлуатованого устаткування завдяки ідентифікуванню проблем на ранній стадії у процесі проектування;
- змога ідентифікувати види локалізованої відмови та вимоги щодо систем з резервуванням або систем убезпечення;
- подання вхідних даних для розроблення програм моніторингу

зазначенням ключових функцій, що підлягають моніторингу.

Обмеженості:

- можливість використання лише для ідентифікування окремих видів відмов, а не комбінацій видів відмов;
- для досліджень може бути потрібно багато часу та витрат, якщо їх належно не контролювати та не спрямовувати;
- дослідження можуть бути важкими та утомними в разі складних багат шарових систем.

Наведений перелік методів загального оцінювання ризику не є вичерпним. На практиці для оцінки ризику техногенних НС найчастіше використовують інженерні методи.

Висновок. Універсального методу загального оцінювання ризику не існує; кожен метод має чіткі переваги, недоліки та сферу застосування, тому вибір інструментів має бути обґрунтованим відповідно до ДСТУ EN ІЕС 31010:2022.

Методи поділяються на якісні (для швидкої ідентифікації пріоритетних ризиків і формування заходів їх зменшення) та кількісні (для точного розрахунку ймовірності, збитків і порівняння з нормами), причому кількісні обов'язково застосовуються, якщо якісне оцінювання показує ризик наближений або вище гранично допустимого рівня.

Вибір методу залежить від цілей дослідження, потреб осіб, що приймають рішення, наявності ресурсів, якості даних, невизначеності та комплексності ризиків, забезпечуючи при цьому обґрунтованість, відтворюваність і порівнянність результатів. Серед ключових методів мозкова атака стимулює творче мислення для нових ризиків, HAZOP дає системне виявлення відхилень у процесах, SWIFT є швидкою альтернативою на системному рівні, а FMEA/FMECA дозволяє детально аналізувати види відмов і їх критичність.

Правильне застосування цих методів дає змогу не лише ідентифікувати ризики надзвичайних ситуацій техногенного походження і пожеж, але й розробити ефективні заходи для їх зменшення.

Питання для самоконтролю

1. Який стандарт визначає настанови щодо вибирання та застосування методів загального оцінювання ризику?
2. Назвіть не менше п'яти найбільш поширених методів загального оцінювання ризику.
3. У чому полягає принципова відмінність між якісними та кількісними методами оцінювання ризиків виникнення НС?

4. У яких випадках обов'язково застосовується кількісний метод оцінювання ризику?
5. Які основні вимоги висуваються до придатності обраного методу загального оцінювання ризику?
6. Перелічіть не менше шести чинників, які впливають на вибір методів загального оцінювання ризику.
7. Які ресурси та можливості організації можуть впливати на вибір методів?
8. Поясніть роль невизначеності даних при виборі методу оцінювання ризику.
9. У чому полягає сутність методу мозкової атаки та які існують його формалізована і неформалізована форми?
10. Назвіть три головні переваги та дві основні обмеженості методу мозкової атаки.
11. Що означає аббревіатура HAZOP і на якому етапі життєвого циклу системи його найчастіше застосовують?
12. Яка принципова відмінність між методами HAZOP і FMEA/FMECA у підході до аналізу відмов?
13. Перелічіть основні етапи проведення дослідження методом HAZOP.
14. У чому полягає сутність методу SWIFT і чим він відрізняється від HAZOP за рівнем докладності?
15. Поясніть, як розраховується число пріоритетності ризику (RPN) у методі FMECA та для чого воно використовується.

Рекомендована література

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 13 жовтня 2023 р. № 836. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>.

Лекція 3. Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій.

План

1. Загальні положення управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.
2. Оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

1. Загальні положення управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

Попередження виникнення НС природного і техногенного характеру, максимальне зниження масштабів матеріальних, соціальних та інших втрат є важливою складовою державної політики України, яка реалізується через діяльність Єдиної державної системи запобігання і ліквідації НС.

Усім відомий вираз: «Пожежу легше попередити, ніж загасити». Дійсно, дотримання елементарних правил пожежної безпеки у побуті дозволяє мінімізувати ризики виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із пожежами. А як бути із більш складними системами, ніж житловий будинок, наприклад, з електростанцією чи нафтопереробним заводом?

До недавнього часу, як в Україні, так і країнах Європейського Союзу, переважав детермінований підхід до питання нормування і забезпечення безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Суть цього підходу полягає у розподілі об'єктів за ступенем небезпеки, яка визначається за параметром, що характеризує наслідки пожежі та вибуху, на категорії, класи тощо, з позначенням їх конкретних кількісних меж. Управлінські рішення щодо зменшення ризиків від НС за детермінованого підходу приймаються виходячи із ступеня небезпеки об'єкта.

На сьогодні більш перспективним вважається ймовірнісний підхід, що базується на концепції припустимого ризику впливу небезпечних факторів НС на одну людину в рік. Як відомо із попередніх лекцій, ризик загибелі визначається двома складовими – ймовірністю виникнення НС та ймовірністю ураження людини небезпечними чинниками НС, що, в свою чергу, залежить від ймовірностей досягнення параметрів небезпечних чинників НС критичних значень та ймовірністю критичного ураження людини небезпечними чинниками.

Виходячи із наведеного, управлінські рішення щодо зменшення ризиків від НС за ймовірнісного підходу повинні прийматися на основі принципу «ціна–ефективність» спираючись на результати оцінювання ризику. Зазначений підхід є ефективним з точки зору оптимізації витрат на забезпечення безпеки ОПН, проте вимагає від суб'єкта управління певного рівня компетентності, необхідного для оцінювання ризиків.

Для позначення комплексу заходів, що застосовуються для прийняття рішень щодо зменшення ризиків, використовують поняття «**управління ризиками**».

Управління ризиками – процес прийняття рішень і здійснення заходів, спрямованих на зменшення ризиків та мінімізацію розмірів можливих втрат (збитків).

Під цим терміном розуміють сукупність заходів, спрямованих на зниження рівня техногенного ризику, зменшення можливих матеріальних втрат та інших негативних наслідків НС, тобто таких заходів, що спрямовані на запобігання виникненню аварійних ситуацій на виробництві та заходів щодо локалізації негативних наслідків у тих випадках, коли аварії трапилися.

Особливістю цього напряму є комплексність, що включає різні аспекти – технічні, організаційно-управлінські, соціально-економічні, медичні, біологічні та ін.

Відповідно до частини другої статті 42² Кодексу цивільного захисту України, з метою визначення процесів управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру наказом МВС України від 31.07.2023 р. № 627 затверджено **Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж**.

Порядок визначає завдання та загальні вимоги до організації процесів з управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

Управління ризиками здійснюється з метою ідентифікації ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, пов'язаних із діяльністю суб'єктів господарювання та інших юридичних осіб, запобігання їм, зменшення та мінімізації розміру можливих втрат (збитків).

Управління ризиками виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та пожеж здійснюється шляхом:

1. аналізу ризиків;
2. оцінки ризиків;

3. визначення та реалізації (виконання) заходів, спрямованих на приведення ризиків до прийняттого рівня, та мінімізації можливих наслідків, зокрема інформування про наявні ризики громадськості та ДСНС.

Під час управління ризиками застосовуються принципи, зазначені в Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Основними завданнями під час управління ризиками є:

- створення управлінських механізмів, що забезпечують ефективне управління ризиками;
- виявлення загроз та можливих негативних наслідків, оцінка можливостей запобігання їм або їх мінімізації;
- розроблення та оцінка заходів із мінімізації втрат (збитків) у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж;
- визначення доцільності запровадження превентивних (профілактичних) заходів залежно від витрат на їх реалізацію у співвідношенні до обсягів можливих втрат (збитків) з урахуванням витрат на страхування;
- визначення необхідних ресурсів для мінімізації ризиків, їх оптимальний розподіл;
- розроблення і реалізація комплексу превентивних (профілактичних) заходів, спрямованих на приведення рівня ризиків до прийняттого значення та мінімізацію можливих втрат (збитків);
- моніторинг та аналіз ефективності виконання заходів планів управління ризиками та їх періодичне оновлення.

Суб'єкт управління ризиками здійснює ідентифікацію, аналіз та оцінку ризиків, характерних для відповідного об'єкта управління ризиками.

Виявлення загроз, ідентифікація та аналіз ризику здійснюються з метою встановлення найбільш ймовірних сценаріїв розвитку ситуації в разі виникнення небезпеки, оцінки її можливих наслідків шляхом виявлення, збору та узагальнення наявної або доступної інформації щодо всіх можливих джерел і чинників ризику.

Оцінка ризиків проводиться на підставі результатів аналізу ризиків, розрахункового значення рівня ризику та відповідних рішень суб'єкта управління ризиками.

Суб'єкт управління ризиками на підставі проведеного аналізу та оцінки ризиків розробляє **плани управління ризиками.**

Суб'єкт управління ризиками визначає відповідні цілі та заходи для управління ризиками, спрямовані на зменшення потенційних негативних наслідків для життя та здоров'я населення, навколишнього середовища і економічної діяльності.

Метою створення та реалізації планів управління ризиками є зменшення негативного впливу небезпечних процесів на населення, економіку та навколишнє природне середовище.

До затвердження проєкту плану управління ризиками суб'єкт управління ризиками інформує ДСНС про їх розроблення.

Типовий план управління ризиками повинен містити:

1. стислий опис та характеристики об'єкта управління ризиками, перелік надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, що мали місце в минулому, оцінка ризиків їх виникнення (за наявності);
2. опис відповідних цілей (мета) управління ризиками, у тому числі індикатори і граничні величини для ідентифікації, оцінки та класифікації ризиків;
3. результати ідентифікації можливих ризиків;
4. наявність або необхідність створення систем протипожежного захисту, автоматизованих систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення в разі їх виникнення;
5. наявність засобів моніторингу (системних спостережень) за об'єктами управління ризиками з високим ризиком виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж;
6. висновки аналізу та оцінки ризиків (у тому числі щодо визначення рівня прийнятного ризику);
7. карти загроз і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж;
8. комплекс заходів і послідовність їх виконання, спрямованих на приведення ризиків до прийнятного рівня, та мінімізації можливих наслідків;
9. оцінку стану виконання плану управління ризиками;
10. пріоритети і способи, яким здійснюватиметься моніторинг виконання плану управління ризиками.

Плани управління ризиками не повинні включати заходи, які значно збільшують ризики в інших сферах суспільних відносин (галузях).

Суб'єкт управління ризиками може залучати до активної участі громадськість та інших суб'єктів, заінтересованих у розробленні, перегляді і оновленні планів управління ризиками, шляхом оприлюднення

інформації про аналіз та оцінку ризиків, графічної інформації (карти загроз і ризиків відповідного масштабу та деталізації тощо), а також інформації про заходи, спрямовані на зменшення ризиків, та інших документів, що супроводжують планування.

Плани управління ризиками переглядаються та оновлюються не рідше ніж один раз на 5 років.

Підвищення рівня поінформованості щодо наявних ризиків суб'єкт управління ризиками здійснює шляхом:

1. розроблення відповідних навчальних програм, визначення потреби в навчанні керівного складу та фахівців, діяльність яких пов'язана з організацією і здійсненням заходів з управління ризиками, а також забезпечення періодичності його проведення;

2. інформування громадськості про плани управління ризиками і заходи, пов'язані з потребами конкретних груп населення, шляхом використання засобів поширення масової інформації в будь-якій формі.

Суб'єкт управління ризиками визначає потреби в розробленні галузевих науково-методичних, науково-дослідних та інших документів для організації управління ризиками та заходів із мінімізації їх впливу з урахуванням особливостей їх діяльності.

З метою оцінки ефективності заходів з управління ризиками суб'єктом управління ризиками проводиться постійний моніторинг, що дозволяє здійснювати контроль за результатами управління ризиками для прийняття відповідних управлінських рішень при подальшому перегляді та оновленні планів управління ризиками, аналізі та оцінці ризику, виборі методів та способів управління.

Критеріями оцінки ефективності заходів з управління ризиками є зменшення:

1. кількості надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж; кількості загиблих та постраждалих у них людей;

2. співвідношення витрат на реалізацію превентивних (профілактичних) заходів з обсягами завданих втрат (збитків).

З метою зниження ризику виробничої діяльності для персоналу, населення, довкілля здійснюють заходи, що загалом можна розподілити на напрямки: *моніторинг, обмеження, захист*.

Моніторинг – це постійний збір інформації, спостереження та контроль за об'єктом, що включає процедури аналізу ризику, вимірювання параметрів технологічного процесу, викидів шкідливих речовин, стану навколишнього середовища на прилеглих до об'єкта територіях.

Обмеження – полягають у лімітуванні для персоналу тимчасових та просторових параметрів виробничих процесів та умов роботи, пов'язаних із джерелами небезпеки, а для населення – у встановленні санітарно-захисних зон для виключення впливу шкідливих факторів при нормальній експлуатації об'єкта та критичних параметрів небезпечних чинників НС у випадку її виникнення.

Захист – це прийняття специфічних для об'єкта заходів безпеки і заходів захисту. Заходи безпеки – заходи, що перешкоджають виникненню ситуацій, коли особи з персоналу можуть зазнати впливу шкідливих і небезпечних чинників НС, які супроводжують нормальну роботу об'єкта і можуть мати місце під час аварії. Заходи захисту – це фізичні бар'єри, що перешкоджають поширенню шкідливих факторів (чинників) за нормальної експлуатації об'єкта і небезпечних чинників НС у разі аварій.

Захист є складовою заходів забезпечення безпеки, є комплексом специфічних заходів і проводиться з метою забезпечення збереження життя та здоров'я персоналу та населення, цілісності та функціональних можливостей матеріальних об'єктів та навколишнього середовища. Сутність захисту полягає у створенні фізичних бар'єрів, які перешкоджають доступу шкідливих впливів до об'єкта, що захищається (людей, будівель та споруд, природних екосистем), та знижують рівень цього впливу або нейтралізують його.

Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій зводиться до розробки та реалізації програм діяльності щодо запобігання аваріям, зниження їх можливих наслідків, забезпечення моніторингу, обмежень та захисту у процесі виробничої діяльності. Мета цього управління – досягнення прийняттого рівня ризику.

У практичній діяльності до реальних заходів, що здійснюються з метою управління **ризиком надзвичайних ситуацій**, можна віднести:

1. моніторинг стану пожежної та техногенної безпеки ОПН;
2. прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру та оцінка їхнього ризику;
3. раціональне розміщення формувань оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на території країни з точки зору оперативної готовності до дій з ліквідації НС;
4. запобігання аваріям та техногенним катастрофам шляхом підвищення пожежної і техногенної безпеки виробничих процесів та експлуатаційної надійності обладнання;

5. розробка та здійснення інженерно-технічних заходів щодо зниження можливих втрат та збитків від надзвичайних ситуацій (пом'якшення їх можливих наслідків) на конкретних об'єктах та територіях;

6. підготовка об'єктів економіки та систем життєзабезпечення населення до роботи в умовах надзвичайних ситуацій;

7. підготовка політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки 1 або 2 класу та звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки;

8. проведення державної експертизи у сфері захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій;

9. проведення державного нагляду та контролю з питань пожежної та техногенної безпеки;

10. страхування техногенних ризиків;

11. інформування населення про потенційні техногенні загрози на території проживання;

12. здійснення заходів захисту персоналу та населення, що проживає на територіях, прилеглих до потенційно небезпечних об'єктів;

13. підтримка у готовності органів управління, сил та засобів, призначених для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт у разі виникнення аварії.

Важливу роль у управлінні техногенним ризиком грають економічні механізми.

Зниження ризику може здійснюватися за кількома напрямками:

- зниження ймовірності виникнення аварії;
- зменшення масштабів та (або) напрямків поширення фізичних полів впливу від аварії у навколишньому просторі;
- зменшення масштабів ураження;
- виведення суб'єкта впливу із зони негативного впливу небезпечних чинників НС.

Зниження ймовірності виникнення аварії.

Цей напрямок визначається насамперед надійністю технологічного устаткування, можливістю контролю та підтримки його ресурсу, ефективністю управління технологічним процесом, і, навіть, вилученням (або обмеженням) прямого впливу «людського фактора».

При цьому вкрай важливим є вивчення закономірностей виникнення великомасштабних аварійних відмов із первинних відмов окремих елементів системи з урахуванням конкретної технологічної специфіки

об'єкта. У світовій практиці для цієї мети, як правило, використовуються методики побудови «дерев відмов» та відповідні програмні комплекси, що дозволяють досліджувати неоднозначний вплив різних факторів (фізико-хімічні характеристики матеріалів, технології, системи контролю та управління, людський фактор тощо) на об'єктивні передумови та частоту виникнення аварій різних типів. Побудова зазначених логічних схем дозволяє також визначити найбільш ефективні технічні засоби та методи або повного блокування окремих «ланцюжків» виникнення аварій, або зменшення їх вкладу в інтегральне значення ймовірності аварії. Як характерні приклади при цьому можна вказати на встановлення на апаратах незалежних дублюючих систем контролю та аварійної сигналізації, запобіжних систем скидання тиску тощо.

Зменшення масштабів та (або) напрямків поширення фізичних полів впливу від аварії у навколишньому просторі.

Як показує практика, ефективність цих дій значною мірою залежить від правильного розуміння та можливостей достовірного прогнозу фізичних ефектів, пов'язаних з аваріями, а також сценаріїв їх розвитку та масштабів впливу на людей, будівлі та довкілля. Рівень матеріальних витрат на зниження масштабів поширення полів фізичного впливу на довкілля має у обов'язковому порядку пов'язуватися за своєю мірою значимості із загальною стратегією зменшення ризику для аналізованої групи впливу. Характерними прикладами є використання дренажних систем, захисних огорож і водяних завіс у резервуарних парках для зріджених вуглеводневих газів тощо.

Зменшення масштабів ураження.

У першу чергу йдеться про ураження людей (технічного персоналу та населення) небезпечними чинниками НС. При цьому важливим є такі основні моменти:

- правильне розуміння специфіки ура жальних факторів у конкретній аварійній ситуації;
- відповідна підготовленість персоналу та населення до адекватних дій в умовах надзвичайних ситуацій, наявність індивідуальних засобів захисту чи укриттів під час роботи у зонах потенційної небезпеки;
- зміна загального ефекту ураження, наприклад, за рахунок готовності надати екстрену медичну допомогу постраждалим.

Виведення суб'єкта впливу із зони негативного впливу небезпечних чинників НС.

Одним із найбільш часто застосовуваних на практиці напрямів

зниження ризику є виведення суб'єкта впливу із зони негативного впливу небезпечних чинників НС, тобто його переміщення щодо небезпечного об'єкта на безпечну відстань. Самостійно (принаймні на стадії проектування) може розглядатися завдання про оптимальне просторово-часове розміщення груп суб'єктів та об'єктів за умов мінімізації інтегрального ризику системи в цілому.

Таким чином, підвищення безпеки об'єктів підвищеної небезпеки передбачає насамперед здійснення технічних та організаційних заходів, що включають моніторинг небезпечного об'єкта, розробку планів ліквідації аварій та плану дій у надзвичайних ситуаціях на території об'єкта та за його межами.

Будь-який технологічний процес повинен орієнтуватися на технології, що дозволяють максимально знизити ймовірність аварій та зменшити вихід небезпечних речовин у довкілля, при цьому необхідно враховувати, що раціональне розміщення об'єктів також дозволяє забезпечувати безпеку людей та навколишнього середовища.

2. Оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

Для оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж (далі – НС), яке є складовою процесу управління ризиками виникнення НС і здійснюється з метою забезпечення отримання інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих управлінських рішень стосовно розроблення та вжиття заходів із зменшення (мінімізації) ризиків виникнення НС використовують **Методику оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, що затверджена наказом МВС України від 13.10.2023 р. № 836.**

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС здійснюється якісними або кількісними методами, зазначеними в ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 «Керування ризиками – методи оцінки ризиків», з урахуванням:

- ідентифікації потенційних небезпек (визначення типових видів надзвичайних ситуацій);
- аналізу вразливості (визначення рівня вразливості населення, інфраструктури й інших ресурсів відповідно до потенційних небезпек, що передбачає оцінювання стану техногенної безпеки, наявність сил цивільного захисту, доступність евакуаційних шляхів та інші чинники, які

можуть впливати на рівень вразливості);

- ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій (оцінювання ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій певного виду на основі статистичних даних, історичних подій або експертних оцінок);

- оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій (визначення можливих наслідків надзвичайних ситуацій, до яких, зокрема, належать людські втрати, матеріальні збитки, забруднення довкілля, руйнування інфраструктури);

- ранжування ризиків (порівняння ризиків за їхньою величиною, ймовірністю виникнення, наслідками).

Якісний метод оцінювання ризиків виникнення НС – процес аналізу результатів їх ідентифікації, а також визначення подій (вихідних даних), які становлять найбільшу частку в загальному ризику і які потребують вжиття заходів щодо їх зменшення (мінімізації).

Для оцінювання ризиків виникнення НС використовуються якісні та кількісні методи загального оцінювання ризиків.

Кількісний метод оцінювання ризиків виникнення НС обов'язково застосовується для випадків, якщо за результатами оцінювання якісним методом **значення ризику наближено до гранично допустимого значення ризику або більше за нього.**

Для оцінювання ризиків виникнення НС використовуються кількісні методи оцінювання, визначені у ДСТУ 31010, зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

Оцінювання ризиків виникнення НС здійснюється на об'єктовому, місцевому, регіональному, державному та галузевому рівнях на підставі проведеного аналізу ризиків виникнення НС.

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС на об'єктовому рівні здійснюється за допомогою якісних методів.

За допомогою кількісних методів (на підставі статистичних даних) оцінювання ризиків виникнення НС на об'єктовому рівні здійснюється окремо щодо відносних матеріальних збитків, завданих НС, та відносних втрат (загибелі) людей, і розраховується за формулами:

$$R_{i \text{ об.мат.}} = P_1 \times Q_{\text{мат.}}, \quad (1)$$

$$R_{i \text{ об.люд.}} = P_2 \times Q_{\text{люд.}}, \quad (2)$$

де $R_{i \text{ об.мат.}}$ – ризик виникнення НС певного виду з урахуванням відносних матеріальних збитків завданих НС;

$R_{i \text{ об.люд.}}$ – ризик виникнення НС певного виду з урахуванням відносних втрат (загибелі) людей у НС;

P_1 – ймовірність (частота) виникнення НС певного виду;

P_2 – ймовірність втрат (загибелі) людей унаслідок НС певного виду;

$Q_{\text{мат.}}$ – відносні матеріальні збитки, завдані НС певного виду;

$Q_{\text{люд.}}$ – відносні втрати (загибель) людей унаслідок НС певного виду.

Ймовірність (частота) виникнення НС (P_1) визначають як відношення кількості НС певного виду (n_i) до загальної кількості НС (N) за визначений період часу:

$$P_1 = \frac{n_i}{N}, \quad (3)$$

Відносні матеріальні збитки, завдані НС ($Q_{\text{мат.}}$), визначають за формулою:

$$Q_{\text{мат.}} = \frac{q_i}{q_{\text{заг.}}}, \quad (4)$$

де q_i – сума прямих матеріальних збитків, завданих певним видом НС за визначений період часу;

$q_{\text{заг.}}$ – сума валового продукту (обсяг реалізованої продукції, товарів, послуг) за визначений період часу.

Ймовірність втрат (загибелі) людей унаслідок НС певного виду (P_2) – це відношення кількості НС певного виду, унаслідок яких зареєстровано загибель людей, до загальної кількості НС за визначений період часу, що розраховується за формулою:

$$P_2 = \frac{n_{i \text{ нс}}}{N}, \quad (5)$$

де $n_{i \text{ нс}}$ – кількість НС певного виду, унаслідок яких зареєстровано загибель людей за визначений період часу;

N – загальна кількість НС за визначений період часу.

Для визначення відносних втрат (загибелі) людей у НС ($Q_{\text{люд.}}$) застосовують умову $Q_{\text{люд.}} \leq 1$. У такому разі відносні втрати (загибелі) людей у НС ($Q_{\text{люд.}}$) розраховують за формулою:

$$Q_{\text{люд.}} = \frac{l_{i \text{ НС}}}{L}, \quad (6)$$

де $l_{i \text{ НС}}$ – кількість загиблих людей у НС певного виду за визначений період часу;

L – загальна кількість населення (персоналу).

Мінімальний часовий інтервал (визначений період часу) для оцінювання ризиків НС становить не менше ніж 5 років.

Під час розроблення на об'єктовому рівні системи управління пожежною безпекою, зокрема визначення рівня пожежної безпеки та індивідуального пожежного ризику, ймовірності виникнення пожежі на об'єкті використовуються методи, зазначені в ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення».

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС на місцевому рівні здійснюється з використанням кількісних методів на підставі оцінених ризиків виникнення НС на об'єктових рівнях і розраховується за формулою:

$$R_{\text{місц.}} = 1 - \prod_i (1 - R_{i \text{ об.}}), \quad (7)$$

де $R_{i \text{ об.}}$ – підсумкове значення ризику виникнення НС певного виду для територіальної громади (району) від i -го об'єкта і визначається за допомогою кількісних методів, визначених у ДСТУ 31010, зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

Застосовуючи умову, що $R_{i \text{ об.}} \ll 1$, оцінювання ризиків виникнення НС на місцевому рівні може здійснюватися за формулою:

$$R_{\text{місц.}} = \sum_i R_{i \text{ об.}}. \quad (8)$$

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС на регіональному рівні здійснюється з використанням кількісних методів на підставі оцінених ризиків виникнення НС на місцевих рівнях і розраховується за формулою:

$$R_{\text{рег.}} = 1 - \prod_i (1 - R_{i \text{ місц.}}), \quad (9)$$

де $R_{i \text{ місц.}}$ – підсумкове значення ризику виникнення НС певного виду для території регіону (області) від i -ої територіальної громади (району) і визначається за допомогою кількісних методів, визначених у ДСТУ 31010,

зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

Застосовуючи умову, що $R_{i \text{ місц.}} \ll 1$, оцінювання ризиків виникнення НС на регіональному рівні може здійснюватися за формулою:

$$R_{\text{рег.}} = \sum_i R_{i \text{ місц.}} \quad (10)$$

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС на державному рівні здійснюється з використанням кількісних методів на підставі оцінених ризиків виникнення НС на регіональних рівнях і розраховується за формулою:

$$R_{\text{дер.}} = 1 - \prod_i (1 - R_{i \text{ рег.}}), \quad (11)$$

де $R_{i \text{ рег.}}$ – підсумкове значення ризику виникнення НС певного виду для території країни від i -го регіону (області) і визначається за допомогою кількісних методів, визначених у ДСТУ 31010, зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

Застосовуючи умову, що $R_{i \text{ рег.}} \ll 1$, оцінювання ризиків виникнення НС на державному рівні може здійснюватися за формулою:

$$R_{\text{дер.}} = \sum_i R_{i \text{ рег.}} \quad (12)$$

Загальне оцінювання ризиків виникнення НС на галузевому рівні здійснюється з використанням кількісних методів за формулою:

$$R_{\text{гал.}} = 1 - \prod_i (1 - R_{i \text{ об.}}), \quad (13)$$

де $R_{i \text{ об.}}$ – підсумкове значення ризику виникнення НС певного виду для галузі від її i -го об'єкта і визначається за допомогою кількісних методів, визначених у ДСТУ 31010, зокрема: Байєсова статистика і мережі Байєса; матриця «наслідок-ймовірність»; аналізування витрат і вигод; аналізування Парето; криві FN.

Застосовуючи умову, що $R_{i \text{ об.}} \ll 1$, оцінювання ризиків виникнення НС на галузевому рівні може здійснюватися за формулою:

$$R_{\text{гал.}} = \sum_i R_{i \text{ об.}} \quad (14)$$

Оцінювання ризиків виникнення НС на галузевому, місцевому, регіональному та державному рівнях також може здійснюватися за допомогою формул 1 – 6, окремо щодо відносних матеріальних збитків, завданих НС, та відносних втрат (загибелі) людей.

Результати оцінювання ризиків виникнення НС переглядаються в разі виникнення великих за масштабами НС або виникненні нових, неоцінених раніше, загроз (ризиків).

За результатами оцінювання ризиків виникнення НС формується перелік ризиків (картка ризиків) з метою їх подальшого ранжування, визначення та реалізації (виконання) заходів, спрямованих на приведення ризиків до прийняттого рівня, та мінімізації можливих наслідків.

Висновок. Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж є стратегічною складовою державної політики України, яка реалізується через Єдину державну систему запобігання і ліквідації НС та регламентується Порядком, затвердженим наказом МВС України від 31.07.2023 р. № 627.

Сучасний ймовірнісний підхід замінив детермінований і дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі принципу «ціна-ефективність», спираючись на результати оцінки ризику та досягнення прийняттого рівня ризику для життя людей, довкілля та економіки.

Процес управління ризиками включає ідентифікацію, аналіз, оцінку, розроблення та періодичне оновлення (не рідше ніж раз на 5 років) планів управління ризиками, які містять цілі, карти загроз, комплекс заходів моніторингу, обмеження та захисту, а також обов'язкове інформування громадськості.

Оцінювання ризиків здійснюється якісними та кількісними методами згідно з ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 та Методикою МВС України від 13.10.2023 р. № 836 на об'єктовому, місцевому, регіональному, державному та галузевому рівнях з використанням розрахункових формул для матеріальних збитків і людських втрат.

Практичне застосування технічних, організаційних та економічних заходів щодо зниження ймовірності аварій, зменшення масштабів наслідків і оптимального розподілу ресурсів дозволяє привести ризики до прийняттого рівня, мінімізувати втрати та забезпечити стійкість об'єктів підвищеної небезпеки.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть нормативний документ, яким затверджено Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж.

2. Наведіть визначення поняття «управління ризиками».
3. З якою метою здійснюється управління ризиками?
4. Що є основними завданнями під час управління ризиками?
5. Що є метою створення та реалізації планів управління ризиками?
6. Що є критеріями оцінки ефективності заходів з управління ризиками?
7. Якими шляхами здійснюється підвищення рівня поінформованості щодо наявних ризиків суб'єкт управління ризиками?
8. Назвати значення нормативних рівнів ризиків.
9. За якими напрямками розподіляються заходи зниження ризику виробничої діяльності для персоналу, населення, довкілля?
10. Дайте коротку характеристику заходів моніторингу, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
11. Дайте коротку характеристику заходів обмеження, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
12. Дайте коротку характеристику заходів захисту, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
13. Які заходи здійснюються з метою управління ризиком надзвичайних ситуацій у практичній діяльності?
14. Назвати основні напрямки зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.
15. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зниження ймовірності виникнення аварії.
16. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зменшення масштабів та (або) напрямків поширення фізичних полів впливу від аварії у навколишньому просторі.
17. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зменшення масштабів ураження.
18. Наведіть нормативний документ, яким затверджено Методику оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж
19. З урахуванням яких відомостей здійснюється загальне оцінювання ризиків виникнення НС?

Рекомендована література

1. Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. №37-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80#Text>.
2. Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж : Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 31 липня 2023 р. № 627. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>.
3. Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж : Наказ

Міністерства внутрішніх справ України від 13 жовтня 2023 р. № 836. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>.

4. Про затвердження Порядку функціонування системи моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій, проведення моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій : Постанова Кабінету Міністрів України від 17.09.2025 № 1171. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1171-2025-п>.

5. ДСТУ EN ІЕС 31010:2022. Керування ризиками – методи оцінки ризиків (EN ІЕС 31010:2019, IDT; ІЕС 31010:2019, IDT). [На заміну ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013; чинний від 2023–12–31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889.

6. Федорчак В.В. Механізми державного управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій в Україні: дис... доктора наук з держ. управління: 25.00.02. Харків, 2018. 429 с.

7. Соболев О.М., Кравців С.Я., Коссе А.Г. Ризик-орієнтований підхід у державному регулюванні у сфері техногенної та пожежної безпеки. *Вісник НУЦЗУ. Серія: Державне управління*. 2017. № 1(6). С. 336–341. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2024>.

8. Єрмаков В.М., Луньова О.В. Зменшення ризику катастроф та вразливості населення в східній Україні. *Проект «Зменшення ризику катастроф та вразливості населення в східній Україні»*. 18 с. URL: https://archive.r2p.org.ua/wp-content/uploads/2021/02/techrecs_3p-design-new.pdf.

Лекція 4. Ймовірність. Розподіли випадкових величин при оцінці ризиків.

План

1. Ймовірність. Поняття та визначення.
2. Методи розрахунку ймовірності.
3. Дискретна випадкова величина при оцінці ризиків.
4. Числові характеристики випадкової величини.
5. Розподіли випадкових величин .

1. Ймовірність. Поняття та визначення.

Згідно з Порядком управління ризиками (наказ МВС № 627) та Методикою оцінювання ризиків (наказ МВС № 836) ризик визначається як добуток ймовірності небажаної події на її наслідки (вираз 1, лекція №1).

Як бачимо, ключовим в оцінювання ризику є визначення ймовірності події, що призводить до НС. Існує два способи розрахунку ймовірності – статистичний (грунтується на статистичних даних про причини, місця, умови та частоту виникнення НС) та інженерний (базується на оцінюванні надійності системи через ймовірність відмов її складових за методами FTA, ETA, LOPA, Монте-Карло, Байєсові мережі за ДСТУ EN ІЕС 31010:2022). Інженерний метод більш складний і у своїй основі спирається також на статистичні дані (умовно, випадкові величини) про інтенсивність відмов складових системи, що в свій чергу отримані за результатами випробувань чи спостережень. Ймовірність дає відповідь на запитання «Яка можливість того, що НС станеться?» але щоб відповісти на питання «Яка ймовірність того, що параметри НС (збитки, час, інтенсивність) потраплять у конкретний діапазон?» потрібно мати уявлення про закони розподілу випадкових величин.

Випадкові величини дозволяють моделювати реальну невизначеність на об'єктах підвищеної небезпеки: кількість пожеж, час евакуації, кількість загиблих, інтенсивність теплового випромінювання, час спрацювання засобів захисту. Закони розподілу дають можливість прогнозувати ймовірність ураження та оптимізувати превентивні заходи, щоб привести ризик до прийняттого рівня. Без цих знань неможливо виконати кількісну оцінку ризику на об'єктовому, місцевому чи державному рівні, як вимагає чинне законодавство. Саме тому в цій лекції ми розглянемо основи теорії ймовірностей та закони розподілу, які безпосередньо використовуються в розрахунках для оцінки ризиків.

Отже, **ймовірність** – числова характеристика можливості того, що випадкова подія відбудеться в умовах, які можуть бути відтворені необмежену кількість разів.

Одне з основних понять теорії ймовірностей – поняття події.

Подія – це будь-який факт, що є наслідком випробування (експерименту чи досліду). Під випробуванням розуміють здійснення певного комплексу умов.

Події позначають великими літерами латинської алфавіту: A, B, C, \dots

Подію, яка може настати або не настати за даних умов, називають *випадковою подією* (*можливою подією*).

Подію, яка неминуче настане під час випробування, називають *вірогідною*. Вірогідну подію позначають Ω . Подію, яка не може відбутися за умов даного випробування, називають *неможливою* і позначають \emptyset .

Випадкові події A і B називають *несумісними* в якомусь випробуванні, якщо вони не можуть відбутися водночас (спільно), тобто настання однієї з них виключає можливість появи іншої.

Події A і B називають *сумісними*, якщо вони можуть відбутися разом (тобто можливе суміщення подій A і B). Події A_1, A_2, \dots, A_n називають *попарно несумісними* в якомусь випробуванні, якщо жодні дві з них не можуть відбутися водночас у цьому випробуванні.

Сукупність подій в якомусь випробуванні утворює *повну групу*, якщо внаслідок випробування настане принаймні одна із цих подій.

Події A_1, A_2, \dots, A_n уважають *рівноможливими*, якщо нема підстав очікувати, що яка-небудь із них буде з'являтися частіше за іншу під час випробувань, які відбуваються багато разів за однакових умов.

Найпростіші несумісні наслідки випробування, які утворюють повну групу, називають *елементарними подіями*.

Сукупність усіх можливих наслідків певного випробування називають *простором елементарних подій* (*фазовим простором*), а самі елементарні події – *точками простору*.

Простір елементарних подій випробування може бути скінченним або нескінченним. Якщо множина точок простору елементарних подій зліченна, то простір називають *дискретним*.

Визначення ймовірності.

Ймовірністю випадкової події A називають відношення кількості елементарних подій, що сприяють події A , до загальної кількості елементарних подій:

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

де n – загальна кількість елементарних подій;

m – кількість елементарних подій, що сприяють події A .

Оскільки $m \leq n$, то, очевидно, що ймовірність – це невід’ємне число, яке не перевищує одиниці:

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

Очевидно, якщо події сприяють усі n елементарних подій ($m = n$), що утворюють повну групу рівноможливих несумісних подій, то це *вірогідна* подія Ω . Ймовірність вірогідної події дорівнює 1:

$$P(\Omega) = \frac{m}{n} = 1$$

Обчислення ймовірностей за вказаним правилом (1) називають обчисленням ймовірності події за *класичною схемою*.

2. Методи розрахунку ймовірності.

У практичній діяльності для оцінки ризиків НС та пожеж найчастіше доводиться розраховувати ймовірність складних подій:

- настання хоча б однієї з кількох небезпечних подій (наприклад, «вибух або пожежа»),
- одночасну появу кількох подій (відмова обладнання + не спрацював захист),
- ймовірність події за умови, що вже відбулася інша подія (наприклад, ймовірність загибелі за умови, що пожежа вже виникла).

Саме для цього слугують **теореми додавання і множення ймовірностей** та поняття **умовної ймовірності**, які дозволяють переходити від простих подій до складних.

Для теорем множення ймовірностей використовують поняття умовної ймовірності та залежних і незалежних подій.

Теореми додавання ймовірностей. Протилежні події

Розгляньмо спочатку несумісні події A і B , тобто такі, що не містять спільних елементів простору елементарних подій (не можуть відбутись одночасно). Нехай ймовірності подій A та B відомі й дорівнюють $P(A)$ і $P(B)$ відповідно. У цьому випадку справедлива теорема.

Теорема 1 (про ймовірність суми несумісних подій). *Ймовірність суми двох несумісних подій дорівнює сумі ймовірностей цих подій, тобто якщо*

$$A \cap B = \emptyset, \text{ то } P(A \cup B) = P(A) + P(B). \quad (2)$$

Дві події називають *протилежними*, якщо вони несумісні й утворюють повну групу подій. Подію, протилежну до події A , позначають \bar{A} .

Події A і \bar{A} несумісні, тому $A \cap \bar{A} = \emptyset$.

Події A і \bar{A} утворюють повну групу, тому під час випробування одна з них обов'язково настане, тобто сума протилежних подій є вірогідна подія:

$$A \cup \bar{A} = \Omega.$$

Теорема 1 стосується лише несумісних подій. Розгляньмо тепер сумісні події A і B . Сума подій A і B – це подія, що полягає в настанні або події A , або події B , або двох цих подій разом (тобто події $A \cap B$)

Теорема 2 (про ймовірність суми подій). *Ймовірність суми двох подій дорівнює сумі їхніх ймовірностей мінус ймовірність їхнього добутку:*

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B). \quad (3)$$

Формула (2) справедлива як для сумісних, так і для несумісних подій. Справді, якщо події A і B несумісні, то $A \cap B = \emptyset$ (\emptyset – неможлива подія), тому в цьому разі $P(A \cap B) = P(\emptyset) = 0$, і формула (3) обертається на формулу (2) для ймовірності суми несумісних подій.

Умовна ймовірність

Коли говорять про ймовірність події A , то мають на увазі певну сукупність умов S , за яких подія відбувається. Якщо при визначенні ймовірності $P(A)$ інших обмежень, окрім комплексу умов S , немає, то ймовірність називають *безумовною*. Однак часто трапляються задачі, коли доводиться знаходити ймовірність події A за умови, що відбулася (або не відбулася) інша випадкова подія B . Таку ймовірність називають *умовною ймовірністю події A за умови B* і позначають $P(A|B)$ або $P_B(A)$. Прикладом умовної ймовірності події є ймовірність виникнення пожежі $P_B(A)$ за умови, що раніше відбулося утворення горючого середовища (подія B).

Незалежні події. Множення ймовірностей

Події поділяють на *залежні* і *незалежні*. Дві події A і B називають незалежними, якщо ймовірність появи однієї з них не залежить від появи іншої, тобто

$$P(A) = P(A|B) = P(A|\bar{B}), P(B) = P(B|A) = P(B|\bar{A}). \quad (4)$$

Дві події A і B називають *залежними*, якщо ймовірність появи однієї з них залежить від того, трапилася чи не трапилася інша. Якщо A і B залежні, то $P(A) \neq P(A|B)$.

З означення умовної ймовірності випливає наступна теорема.

Теорема 1 (про ймовірність добутку подій). *Ймовірність добутку подій A і B дорівнює добутковій ймовірності однієї з них на умовну ймовірність іншої:*

$$P(A \cap B) = P(B) \cdot P(A|B), \quad (5)$$

або

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A), \quad (6)$$

Формула повної ймовірності

Теорема (формула повної ймовірності). *Ймовірність події A дорівнює сумі добутків ймовірностей гіпотез на відповідні їм умовні ймовірності події A :*

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P_{H_i}(A). \quad (7)$$

Ймовірність настання принаймні однієї події

Нехай у результаті n послідовних випробувань може настати n подій A_1, A_2, \dots, A_n , незалежних в сукупності, ймовірності яких відомі p_1, p_2, \dots, p_n . Тоді ймовірності протилежних подій $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_n$ дорівнюють

$$q_1 = 1 - p_1, q_2 = 1 - p_2, \dots, q_n = 1 - p_n. \quad (8)$$

Теорема. *Ймовірність настання принаймні однієї з подій A_1, A_2, \dots, A_n , незалежних в сукупності, обчислюють за формулою:*

$$P(A) = 1 - q_1 q_2 \dots q_n,$$

$$\text{або } P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n q_n,$$

$$\text{або } P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_n). \quad (9)$$

Обчислення ймовірностей, необхідних для аналізування ризику, спирається на основні твердження теорії ймовірності.

3. Дискретна випадкова величина при оцінці ризиків.

Як уже зазначалося раніше, ризик визначається двома складовими – ймовірністю виникнення НС та її наслідками. При визначенні наслідків НС важливим є також визначення ймовірності перебування людини у зоні впливу небезпечних факторів ураження, ймовірності спрацювання засобів обмеження небезпечних чинників НС та ін. Визначення ймовірності виникнення НС, не залежно від того чи здійснюється воно на основі обробки статистичних даних про НС чи розраховується на основі випробувань надійності окремих складових технічної системи, пов'язане із статистичною обробкою великого масиву даних з використанням законів математичної статистики. Ключовим поняттям математичної статистики є *випадкова величина*.

Випадковою величиною називають змінну величину, яка в результаті випробування залежно від випадкових обставин може набувати того або іншого наперед невідомого значення. Випадкові величини позначають великими літерами латинської абетки, зазвичай це X , Y , Z , а можливі значення випадкових величин – відповідними малими літерами. Випадкові величини поділяють *дискретні* і *неперервні*.

Випадкову величину називають **дискретною (ДВВ – дискретна випадкова величина)**, якщо вона набуває окремих, ізольованих одне від одного числових значень з відповідними ймовірностями. Множина значень дискретної випадкової величини може бути як *скінченною*, так і *нескінченною*

Якщо значення випадкової величини неперервно заповнюють проміжок, то таку величину називають *неперервною*.

Для визначенні ризику НС, зокрема для визначення ймовірності її виникнення, оцінки ймовірності реалізації подій, що сприяють чи перешкоджають її розвитку, визначення ймовірності людини у зоні впливу

небезпечних факторів ураження, прикладом можуть бути наступні дискретні випадкові величини:

- кількість НС, пожеж зокрема, за певний період на певних об'єктах;
- причини НС;
- кількість постраждалих;
- кількість людей на одиниці площі;
- кількість людей на певній території;
- кількість людей в конкретному місці;
- інформація про кількість відмов (або надійність) складових технічних засобів;
- режим експлуатації технологічних систем;
- маса небезпечних речовин;
- об'єм небезпечних речовин;
- час евакуювання;
- час прибуття підрозділів ДСНС до місця НС;
- час локалізації аварії;
- час впливу небезпечних чинників НС;
- час ліквідації НС;
- температура полум'я;
- інтенсивність теплового випромінювання та ін.

Джерелом інформації про дискретні випадкові величини при оцінці ризиків НС можуть слугувати:

- офіційна статистика пожеж та НС;
- паспорт ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;
- акти про пожежу;
- журнал обліку пожеж;
- журнал обліку НС;
- інформаційні звіти про НС;
- інформаційні матеріали щодо наслідків надзвичайної ситуації;
- повідомлення про виникнення НС та закінчення робіт із ліквідації її наслідків;
- інформація з літературних джерел щодо відмов обладнання, частоти виникнення тих чи інших аварійних ситуацій;
- інформація від суб'єкта господарювання щодо режимів технологічного процесу, присутності людей (робітників, покупців, гостей тощо);

- статистичні дані щодо погодних умов;
- статистичні дані щодо результативності дій підрозділів ДСНС тощо.

Співвідношення, яке встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і ймовірностями, з якими приймають ці значення, називають **законом розподілу ймовірностей випадкової величини (або розподіл ймовірностей випадкової величини)**. Про випадкову величину кажуть, що вона підлягає даному законові розподілу.

Дві випадкові величини називають *незалежними*, якщо закон розподілу однієї з них не залежить від значень, яких набула друга. В іншому разі випадкові величини називають *залежними*.

Закон розподілу випадкової величини можна задати кількома способами: у вигляді таблиці, графічно або аналітично.

Таблиця є найпростішою формою задання розподілу ймовірностей і придатна лише для опису дискретних випадкових величин. Табличну форму задання закону розподілу називають *рядом розподілу ймовірностей випадкових величин*. Ряд розподілу (табл. 1) містить перелік можливих значень $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ випадкової величини X і відповідних їм ймовірностей $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$:

Табл. 1 – Ряд розподілу ймовірностей випадкових величин

X	x_1	x_2	...	x_i	...	x_n
p	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n

У першому рядку таблиці записують усі можливі значення випадкової величини, а в другому – відповідні їм ймовірності. Оскільки події $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ становлять повну групу несумісних подій, то за теоремою додавання ймовірностей маємо:

$$\sum_{k=1}^{\infty} p_k = 1. \quad (10)$$

тобто сума ймовірностей усіх можливих значень випадкової величини дорівнює одиниці.

Для графічного зображення ряду розподілу дискретної випадкової величини використовують *багатокутник розподілу*. Для цього на осі абсцис відкладають можливі значення x_i випадкової величини, а на осі ординат – відповідні ймовірності p_i . З'єднавши отримані точки $(x_i; p_i)$ прямолінійними відрізками, одержимо фігуру, яку називають

багатокутником розподілу (рис. 1).

Випадкова величина є функцією елементарних подій. Якщо множина елементарних подій скінченна, то випадкову величину можна задати, вказавши її значення на всіх елементарних подіях.

Отже, закон розподілу неперервної випадкової величини може бути заданий аналітично за допомогою формули виду:

$$p_k = F(x_k). \quad (11)$$

Функція розподілу є найзагальнішою формою задання закону розподілу випадкової величини. Функція розподілу придатна для опису як дискретної, так і неперервної випадкової величини.

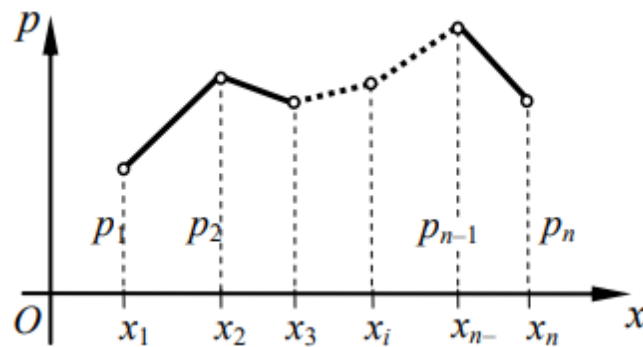


Рисунок 1 – Багатокутник розподілу випадкової величини X

Ймовірність потрапляння випадкової величини X в інтервал $[a, b]$ визначають як ймовірність події p ($a \leq X < b$).

Для кількісного оцінювання закону розподілу випадкової величини (дискретної або неперервної) задають **функцію розподілу ймовірностей випадкової величини**, яку визначають як ймовірність того, що випадкова величина X набуде значення, меншого від певного фіксованого числа x і позначають як

$$F(x) = p(X < x) \text{ або } F(x) = p(-\infty < X < x). \quad (12)$$

Функцію розподілу $F(x)$ називають *інтегральною функцією* розподілу ймовірностей випадкової величини. Знаючи функцію розподілу $F(x)$, можна обчислити ймовірність потрапляння випадкової величини у деякий інтервал $[a, b]$:

$$p(a < X < b) = F(b) - F(a). \quad (13)$$

Функцію

$$f(x) = F'(x). \quad (14)$$

називають **диференціальною функцією (диференціальним законом) розподілу випадкової величини X** . Часто вживають іншу назву $f(x)$ – **щільність розподілу ймовірностей** або, коротше, **щільність ймовірності**.

Ґрунтуючись на властивостях інтегральної функції розподілу $F(x)$, для неперервної випадкової величини нескладно схематично зобразити графік щільності ймовірності $f(x)$. Оскільки за $x \rightarrow \pm\infty$ $F(x) \rightarrow const$, то $f(x) \rightarrow 0$, якщо $x \rightarrow \pm\infty$. Отже, в загальному випадку графік функції $f(x)$ має вигляд, показаний на рис. 2.

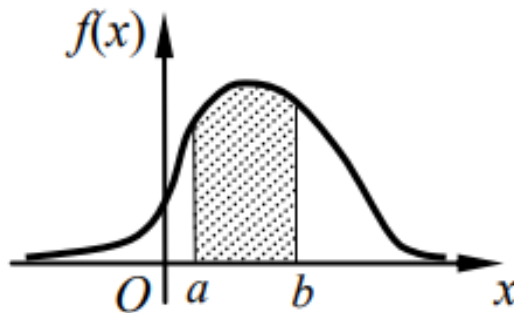


Рисунок 2 – Крива диференціальної функції розподілу (щільність розподілу) випадкової величини X

Криву $f(x)$, що зображає диференціальну функцію розподілу випадкової величини, називають **кривою розподілу**.

4. Числові характеристики випадкової величини.

Під час розв'язування практичних задач досить важко, а іноді й неможливо визначити функцію розподілу випадкової величини X , тому потрібно вміти характеризувати її розподіл через параметри, найважливіші з яких – **математичне сподівання** та **дисперсія**.

Математичним сподіванням дискретної випадкової величини X називають суму добутків усіх можливих значень x_k випадкової величини X

відповідних ймовірностей p_k

$$M(X) = \sum_k x_k p_k. \quad (15)$$

Якщо при цьому множина можливих значень X нескінченна, то накладається умова абсолютної збіжності ряду. Математичне сподівання називають центром розсіювання випадкової величини і воно відповідає середньому значенню випадкової величини.

Математичним сподіванням неперервної випадкової величини X , яка задана щільністю розподілу $f(x)$, називають

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx, \quad (16)$$

якщо цей інтеграл абсолютно збіжний.

Якщо можливі значення неперервної випадкової величини X належать проміжку $[a, b]$ то

$$M(X) = \int_a^b x f(x) dx, \quad (17)$$

В обох випадках $f(x)$ – щільність розподілу ймовірностей випадкової величини.

Математичне сподівання є характеристикою центра групування випадкової величини, але воно не дає уявлення про ступінь розсіювання цієї величини навколо центра групування.

Характеристику, яка є мірою розсіювання значень випадкової величини навколо її математичного сподівання називають **дисперсією**.

Перш ніж перейти до визначення дисперсії, необхідно ввести поняття *відхилення*. **Відхиленням $\overset{\circ}{X}$** називають різницю між випадковою величиною X та її математичним сподіванням m_X :

$$\overset{\circ}{X} = X - m_X. \quad (18)$$

Відхилення називають також *центрованою випадковою величиною*.

Для характеристики розсіювання випадкової величини навколо її центра розподілу використовують середнє значення квадрата відхилення – **дисперсія випадкової величини**.

Дисперсією випадкової величини X називають математичне сподівання квадрата відхилення. Дисперсію випадкової величини X

позначають $D(X)$, $\sigma^2(X)$ або σ_X^2 :

$$D(X) \equiv \sigma_X^2 = M((X - m_X)^2). \quad (19)$$

Формули для визначення дисперсій дискретної і неперервної випадкових величин мають відповідно вигляд:

$$\sigma_X^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2 p_i. \quad (20)$$

$$\sigma_X^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x_i - m_X)^2 f(x) dx. \quad (21)$$

Очевидно, що дисперсія – величина невід’ємна: $D(X) \geq 0$.

Так само як і математичне сподівання, дисперсія є іменованою величиною, але вимірюється не в одиницях випадкової величини, а в одиницях квадрата цієї величини, що не дуже зручно для практики. Тому, окрім дисперсії, як міру розсіювання випадкової величини використовують також величину, яка дорівнює квадратному кореневі з дисперсії – *середнє квадратичне відхилення випадкової величини*:

$$\sigma_X = \sqrt{D(X)}. \quad (22)$$

Середнє квадратичне відхилення σ_X має таку саму одиницю виміру, як і випадкова величина, і тому є зручнішою (і більш наочною) характеристикою розсіювання, ніж дисперсія.

Дисперсія і середнє квадратичне відхилення – міра розсіювання значень випадкової величини навколо її математичного сподівання. Дисперсію часто беруть за міру ризику, оскільки вона характеризує мінливість, розсіювання випадкової величини, наприклад кількості жертв внаслідок вибуху, що залежить від багатьох чинників, у тому числі особливостей поширення небезпечних чинників вибуху та їхнього впливу на людину.

5. Розподіли випадкових величин.

Співвідношення, що встановлюють зв’язок між значеннями випадкової величини та їх ймовірностями отримали назву *законів розподілу випадкової величини*.

У теорії ймовірності найбільшого поширення отримали наступі

закони розподілу:

- рівномірний розподіл;
- нормальний розподіл (розподіл Гауса);
- розподіл « χ^2 »;
- розподіл Стьюдента;
- експоненціальний (показниковий) розподіл.

Рівномірний закон розподілу.

Величина X розподілена рівномірно на проміжку $[a, b]$ якщо усі її можливі значення належать цьому проміжку і щільність розподілу її ймовірностей має такий вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b]; \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases} \quad (23)$$

Для рівномірно розподіленої випадкової величини на проміжку $[a, b]$:

$$P(x_1 < X < x_2) = \frac{x_2 - x_1}{b - a}, \quad a \leq x_1 \leq x_2 \leq b, \quad (24)$$

тобто ймовірність потрапляння X в інтервал (x_1, x_2) дорівнює відношенню довжини цього інтервалу до довжини всього проміжку $[a, b]$.

Функція розподілу рівномірного закону розподілу має такий вигляд:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & x \in [a, b]; \\ 1, & x > b. \end{cases} \quad (25)$$

Рівномірний закон розподілу легко моделювати. За допомогою функціональних перетворень із величин, розподілених рівномірно, можна отримувати величини з довільним законом розподілу.

Нормальний закон розподілу (розподіл Гауса).

Випадкову величину X називають *розподіленою нормально*, якщо її диференціальна функція розподілу ймовірностей має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (26)$$

де a, σ – параметри розподілу.

Графік функції $f(x)$ називають нормальною кривою або кривою Гауса.

За $a = 0$ та $\sigma = 1$ нормальну криву називають нормованою, функція розподілу щільності має вигляд

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad (27)$$

тобто цей вираз є функцією Лапласа.

Нормальний закон розподілу повністю визначається своїм математичним сподіванням та дисперсією (середнім квадратичним відхиленням):

$$M(X)=a, D(X)=\sigma^2, \sigma(X)=\sigma, \quad (28)$$

Для нормального розподілу ймовірність потрапляння випадкової величини в інтервал $[\alpha, \beta]$ обчислюють за формулою:

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right), \quad (29)$$

де Φ – функція Лапласа.

Інтегральна функція розподілу має вигляд:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right). \quad (30)$$

Розподіл « χ^2 ».

Нехай X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – нормально розподілені нормовані незалежні величини (їх математичне сподівання дорівнює 0, середні квадратичні відхилення дорівнюють 1). Тоді сума квадратів цих величин:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2, \quad (31)$$

розподілена за законом χ^2 з $k = n$ степенями свободи.

Якщо величини X_i зв'язані одним лінійним співвідношенням, наприклад

$$\sum_{i=1}^n X_i = n\bar{X},$$

то кількість степенів свободи буде $k = n - 1$

Диференціальна функція розподілу χ^2 має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0; \\ \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \cdot \Gamma(\frac{k}{2})} \cdot e^{-\frac{x}{2}} \cdot x^{\frac{k}{2}-1}, & x > 0, \end{cases} \quad (32)$$

де $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} dt$ – гамма-функція, $\Gamma(n+1) = n!$.

Розподіл χ^2 визначається параметром – кількість степенів свободи k . Якщо k зростає, розподіл χ^2 прямує до нормального розподілу дуже повільно.

Розподіл Стьюдента.

Розподіл Стьюдента – один з найбільш відомих розподілів серед використовуваних під час аналізу реальних даних. Його застосовують для оцінювання математичного сподівання, прогнозного значення та інших характеристик за допомогою надійних інтервалів, під час перевірки гіпотез про значення математичних сподівань, коефіцієнтів регресійної залежності, гіпотез однорідності вибірок.

Якщо випадкова величина Y має стандартний розподіл ($N(0; 1)$), а випадкова величина X – розподіл χ^2 із k степенями свободи, то величина $Z_k = Y \sqrt{\frac{k}{\chi_k^2}}$ характеризується **t -розподілом або розподілом Стьюдента** з k степенями вільності та диференціальною функцією розподілу

$$f(z) = \frac{\Gamma(\frac{k+1}{2})}{\sqrt{k\pi} \Gamma(\frac{k}{2})} \left(1 + \frac{z^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad -\infty < z < \infty. \quad (33)$$

У разі зростання k розподіл Стьюдента швидко наближується до нормального розподілу.

Експоненціальний (показниковий) розподіл.

Випадкову величина X називають розподіленою за *показниковим розподілом*, якщо її щільність розподілу ймовірностей має такий вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x > 0; \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (34)$$

де $\lambda > 0$ – параметр розподілу.

Якщо випадкова величина X має показниковий розподіл з

параметром λ , тоді

$$M(X) = \frac{1}{\lambda}, D(X) = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (35)$$

Якщо випадкова величина X розподілена за показниковим розподілом, то її інтегральна функція розподілу має такий вигляд:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (36)$$

відповідно

$$P(a < X < b) = \begin{cases} e^{-a\lambda} - e^{-b\lambda}, & a \geq 0; \\ 1 - e^{-b\lambda}, & a < 0, b > 0; \\ 0, & b < 0. \end{cases} \quad (37)$$

Показниковий розподіл використовують в теорії надійності. Нехай t – час безвідмовної роботи деякого елемента, λ – інтенсивність відмов (середня кількість відмов за одиницю часу). Тоді час роботи елемента t можна вважати неперервною випадковою величиною, розподіленою за показниковим законом із функцією розподілу

$$F(x) = P(t < x) = 1 - e^{-\lambda x} (\lambda > 0), \quad (38)$$

яка визначає ймовірність відмови елемента за час, менший від x .

Ймовірність

$$R(x) = P(t \geq x) = e^{-\lambda x}, \quad (39)$$

називають *функцією надійності*, яка визначає ймовірність безвідмовної роботи елемента за час x .

Висновок. Теорія ймовірностей та розподіли випадкових величин є фундаментальною основою кількісної оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, оскільки ризик визначається як добуток ймовірності небажаної події на її наслідки.

Методи розрахунку ймовірності (статистичний та інженерний), теореми додавання і множення, умовна ймовірність, числові характеристики (математичне сподівання, дисперсія) та основні закони

розподілу дозволяють моделювати реальну невизначеність на об'єктах підвищеної небезпеки: кількість пожеж, час евакуації, кількість загиблих, інтенсивність теплового випромінювання тощо. Саме ці інструменти дають змогу переходити від якісної оцінки до точного прогнозування параметрів НС, оптимізувати превентивні заходи та приводити ризик до прийняттого рівня (10^{-5} – 10^{-8}). Без знань цих законів неможливо виконати повноцінну кількісну оцінку ризику на об'єктовому, місцевому, регіональному, державному чи галузевому рівні, як вимагає чинне законодавство України.

Питання для самоконтролю

1. Як визначається ризик виникнення НС згідно з Порядком № 627 та Методикою № 836?
2. Назвіть два основні способи розрахунку ймовірності виникнення НС.
3. У чому полягає відмінність між статистичним та інженерним методами визначення ймовірності?
4. Дайте визначення поняття «подія» в теорії ймовірностей.
5. Які події називають несумісними, сумісними, протилежними та рівноможливими?
6. Запишіть класичне визначення ймовірності події та вкажіть її межі.
7. Сформулюйте теорему про ймовірність суми несумісних подій.
8. Запишіть формулу ймовірності суми двох (сумісних) подій.
9. Що таке умовна ймовірність і як вона позначається?
10. Наведіть приклад умовної ймовірності у пожежній безпеці.
11. Сформулюйте теорему множення ймовірностей для незалежних і залежних подій.
12. Запишіть формулу повної ймовірності та поясніть її застосування.
13. Як обчислюється ймовірність настання принаймні однієї події з кількох незалежних?
14. Дайте визначення дискретної та неперервної випадкової величини.
15. Наведіть 5 прикладів дискретних випадкових величин, що використовуються при оцінці ризиків НС.
16. Які джерела інформації про дискретні випадкові величини застосовують у пожежній безпеці?
17. Що таке математичне сподівання та дисперсія випадкової величини?
18. Чому дисперсію часто використовують як міру ризику?
19. Назвіть основні закони розподілу випадкових величин, що застосовуються в оцінці ризиків.
20. Для чого в теорії надійності використовують експоненціальний (показниковий) розподіл?

Рекомендована література

1. Про затвердження Порядку обліку пожеж та їх наслідків: Постанова Кабінету Міністрів України від 26 грудня 2003 р. №2030. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2030-2003-%D0%BF#Text>.

2. Про затвердження Порядку ведення обліку надзвичайних ситуацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 9 жовтня 2013 р. №738. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/738-2013-%D0%BF#Text>.

3. Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 31.07.2023 № 627. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>.

4. Про затвердження Методики оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 13.10.2023 № 836. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>.

5. ДСТУ EN IEC 31010:2022. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889.

6. Теорія ймовірностей. Випадкові величини: навч. посіб. / уклад. Ю.В. Сидоренко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 33 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27253>.

7. Горбачук В.М., Кушлик-Дивульська О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. К: НТУУ «КПІ», 2023. 351 с.

8. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

9. Васильків І.М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики: навч. посіб. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 184 с.

Лекція 5. Надійність. Терміни та визначення

План

1. Надійність. Терміни та визначення.
2. Показники надійності.
3. Математичні моделі законів розподілу в теорії надійності.
4. Розрахунок надійності.

1. Надійність. Терміни та визначення.

Надійність є одним із ключових елементів ризик-орієнтованого підходу у пожежній безпеці, оскільки ймовірність безвідмовної роботи як систем пожежного захисту, так і технологічних систем об'єктів підвищеної небезпеки безпосередньо визначає ймовірність виникнення НС. Відмова електрообладнання може стати джерелом запалювання, ненадійність ущільнення насоса для перекачування ЛЗР – причиною утворення горючого середовища, а ненадійність манометра чи регулятора – передумовою руйнування хімічного реактора або іншого технологічного обладнання. У лекції розглядаються основні терміни, кількісні показники та математичні моделі надійності, які дозволяють прогнозувати відмови технологічних систем і засобів пожежного захисту та приводити індивідуальний пожежний ризик до прийняттого рівня.

Під поняттям «надійність системи» розуміють властивість виконувати функції протягом певного часу у заданих умовах роботи.

У більш широкому розумінні **надійність** – це властивість об'єкту виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, відповідних заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Основні визначення, що застосовуються в теорії надійності.

Відмова – подія, що призводить до порушення працездатності об'єкту. Розрізняють раптові і поступові відмови. Раптова відмова виникає в результаті зносу і старіння. Поступова відмова виникає як наслідок поступової зміни основних параметрів виробу через знос і старіння.

Безвідмовність – властивість об'єкту безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Довговічність – властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

Напрацювання – тривалість або об'єм роботи об'єкту, що вимірюється в одиницях часу, довжини, площі, об'єму і інших одиницях.

Гарантійне напрацювання – напрацювання об'єкту, до завершення якого гарантується і забезпечується виконання певних вимог до об'єкту за умови дотримання споживачем правил експлуатації, у тому числі правил зберігання і транспортування.

Термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкту від її початку або відновлення після середнього або капітального ремонту до настання граничного стану.

Середній термін служби – математичне очікування терміну служби.

В теорії надійності одним із фундаментальних понять є відмова. Розрізняють наступні види відмов:

Конструкційні відмови. Виникають унаслідок помилок конструктора або недосконалості методів конструювання (недостатня міцність елементів конструкції, незахищеність найвідповідальніших частин механізмів від дії абразивів, вологи, температури і т. д.). В цьому випадку при аналізі і розрахунку надійності слід враховувати, що недосконалість конструкції буде властива всім екземплярам даної моделі (серії) машини (агрегату, вузла, деталі).

Виробничі відмови. Виникають в результаті порушення або недосконалості технології виготовлення (ремонт) машини. Якість деталей, вузлів, агрегатів у цілому не буває однаковою. Незначні зміни якості не значно впливають на надійність об'єкту.

Експлуатаційні відмови. Виникають в результаті порушення правил експлуатації або впливу непередбачених правил зовнішніх дій, що призводить до передчасних відмов, тобто прискорює передчасне старіння машини. Звичайно такі порушення стосуються лише частини експлуатованих машин.

Відмови, що виникають в результаті старіння (зносу) машини. Пов'язані з процесами експлуатації і зберігання, унаслідок чого в машині і її елементах відбуваються незворотні зміни, що полягають у порушенні міцності, координації і взаємодії елементів.

При вирішенні практичних задач, пов'язаних з надійністю об'єктів (машин, агрегатів, вузлів, деталей) недостатньо дати тільки якісну оцінку надійності. Більш інформативною і такою, що може застосовуватися при

визначенні ймовірностей виникнення аварійних ситуацій в технічних системах, є кількісна оцінка надійності. Її визначення пов'язано з рядом специфічних труднощів, основними з яких є:

- велика кількість факторів (умови експлуатації, термін експлуатації, конструктивні особливості, дотримання технології виробництва та ін.), що впливають на надійність, а також недостатність відомостей про них;

- відносна складність їх експериментального визначення, оскільки випробування об'єктів (машин, агрегатів, вузлів, деталей) на надійність пов'язано з великими витратами часу і частковим або повним їх руйнуванням.

Кількісні характеристики надійності носять характер *ймовірності*. Оцінка і аналіз показників надійності пов'язані із статистичною обробкою експериментальних даних та математичною обробкою результатів випробувань з використанням тих чи інших законів розподілу, якими описуються досліджувані величини.

2. Показники надійності.

Показниками надійності не відновлюваних виробів є:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- ймовірність відмов;
- інтенсивність відмов;
- середній наробіток до відмови (середній час безвідмовної роботи).

Математично **ймовірність безвідмовної роботи** протягом напрацювання t можна представити як ймовірність того, що об'єкт (машина, агрегат, вузол, деталь) напрацює з початку експлуатації T більше деякого заданого t ,

$$p(T)=p(T>t).$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $p(t)$ за проміжок часу t можна розрахувати на основі показників надійності елементів, що складають даний виріб, або на основі статистичної обробки результатів випробувань великої кількості об'єктів (виробів) даного типу. В цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи можна визначити за формулою:

$$p(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

де N_0 – кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу t ;

$N(t)$ – кількість працездатних за час випробування виробів;

$n(t)$ – кількість виробів, що відмовили за час t .

Із збільшенням числа дослідів p наближається до $p(t)$, тобто дійсна ймовірність p визначається як межа:

$$p(t) \approx \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{N_0 - n(t)}{N_0}. \quad (2)$$

Для визначення величини ймовірності безвідмовної роботи, як правило, використовують дані, отримані в процесі експлуатації; разом з тим надійність об'єктів можна визначити і за величиною ймовірності відмов. При цьому ймовірність безвідмовної роботи і відмови є протилежними випадковими подіями.

Відмова як подія протилежна події безвідмовної роботи, визначається за наступним співвідношенням:

$$q(t) = 1 - p(t). \quad (3)$$

Очевидно, що $q(t)$ на відміну від $p(t)$ визначається напрацюванням повністю машини (агрегату, вузла, деталі), меншого деякого напрацювання t :

$$q(t) = p(T < t).$$

Подібну функцію називають функцією розподілу випадкової величини (рис. 1).

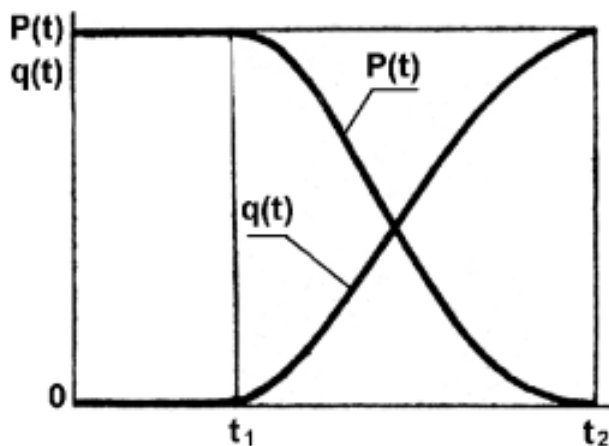


Рисунок 1 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов від часу

Окрім ймовірності безвідмовної роботи $p(t)$, до основних критеріїв безвідмовності технічних засобів відносять й *інтенсивність відмов*. Інтенсивність відмов є найбільш повною характеристикою надійності елементів системи.

Інтенсивність відмов – умовна щільність ймовірності виникнення відмови не відновлюваного об'єкту, визначувана в даний момент часу за умови, що до цього відмов не виникало. Інтенсивність відмов визначається як відношення кількості засобів, що відмовили за одиницю часу, їх кількості, що залишилися працювати

$$\lambda(t) = \frac{dn}{N_u(t)} dt, \quad (4)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;

dn – кількість засобів, що відмовила за час dt ;

$N_u(t)$ – кількість засобів, що пропрацювали час dt .

Імовірність відмов пов'язана з імовірністю безвідмовної роботи. Цей зв'язок отримав назву **загального закону надійності**: характер зміни імовірності безвідмовної роботи технічного засобу у часі при прийнятих допущеннях залежить тільки від характеру зміни у часі інтенсивності відмов. Він описується виразом:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (5)$$

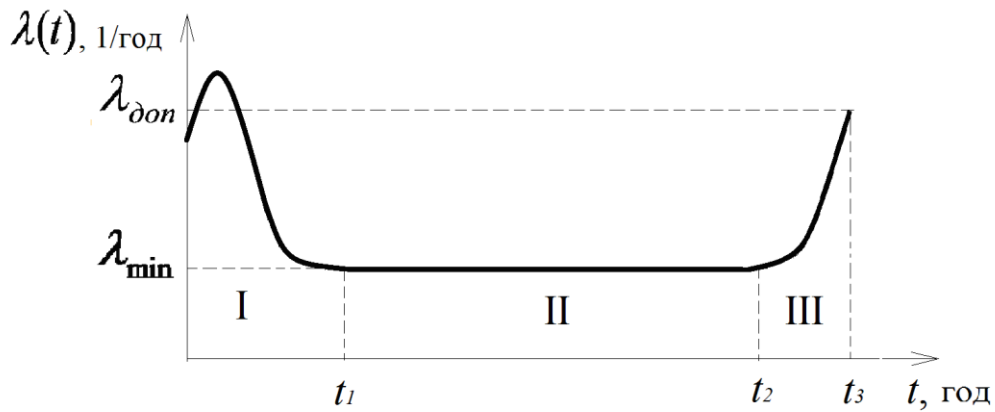
де λ – інтенсивність відмов.

При $\lambda(t) = const$ формула (5) набуває вигляду:

$$p(t) = e^{-\lambda(t)}. \quad (6)$$

Ця закономірність отримала назву *експоненційного закону надійності*.

У переважній більшості для всіх технічних засобів (об'єктів) інтенсивність відмов залежить від часу і описується характерною кривою (рис. 2), що має періоди.



$0 - t_1$ – період припрацювання; $t_1 - t_2$ – період нормальної експлуатації;
 $t_2 - t_3$ – період зношування та старіння.

Рисунок 2 – Залежність інтенсивності відмов від часу

I період – період приробітку ($0 - t_1$). Цей період характеризується високою інтенсивністю відмов, що обумовлено виходом з ладу виробів, що мають приховані дефекти, які не вдалося виявити при їх виготовленні. Тривалість періоду приробітку складає частку відсотка часу нормальної роботи виробу. Період приробітку вважається завершеним, коли інтенсивність відмов наближується до λ_{min} . Приробіточні відмови можуть бути наслідком конструктивних, технологічних та експлуатаційних помилок.

II період – період нормальної роботи ($t_1 - t_2$). Цей період характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю відмов. Величина λ_{min} тим менша, а інтервал тим більший, чим досконаліша конструкція, вища якість її виготовлення і більш ретельно дотримані режими експлуатації. Цей період складає десятки тисяч годин.

III період – період зносу і старіння ($t_2 - t_3$). Цей період характеризується різким зростанням інтенсивності відмов через появу зносу і старіння матеріалів. Завершується період III, а разом з тим припиняється експлуатація виробу, коли інтенсивність відмов наближається до максимально допустимого значення $\lambda_{\text{доп}}$.

Ще одним показником надійності не відновлюваних виробів є середній час безвідмовної роботи або середній наробіток до відмови $t_{\text{сер}}$, що визначається за виразом:

$$t_{\text{сер}} = \int_0^{\infty} p(t) dt. \quad (7)$$

Якщо $p(t)=e^{-\lambda t}$, то вираз (7) має вигляд:

$$t_{\text{сер}} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (8)$$

Тоді

$$p(t) = e^{-\frac{t}{t_{\text{сер}}}}. \quad (9)$$

Статистично (за результатами випробувань) $t_{\text{сер}}$ визначається як відношення суми часу безперервної роботи кожного виробу до загальної кількості виробів, що випробовуються:

$$t_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^{N_0} \frac{t_i}{N_0}, \quad (10)$$

де t_i – час безперервної роботи i -го виробу.

3. Математичні моделі законів розподілу в теорії надійності

Для вирішення завдань з оцінювання надійності та прогнозування працездатності технічних засобів (об'єктів) необхідно мати математичну модель, яка подає аналітичними виразами одного з показників $p(t)$ і $\lambda(t)$. Основний шлях для отримання моделі полягає у проведенні випробувань, обчисленні статистичних оцінок та їх апроксимації аналітичними функціями.

В теорії надійності найбільше поширення отримали наступні закони розподілу випадкових величин:

- закон Вейбула;
- експоненціальний закон;
- нормальний закон (розподіл Гауса);
- логарифмічний нормальний закон.

Ці закони справедливі для неперервних випадкових величин.

Закон розподілу Вейбула використовується для оцінки надійності виробів в період їх приробітку, а також при зносі і старінні.

Для цього закону щільність розподілу наробітку до відмови визначається виразом:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-\frac{t^m}{t_0}}, \quad (11)$$

де m і t_0 – параметри розподілу закону Вейбула – сталі величини; для кожного класу виробів мають певні значення.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу визначається виразом:

$$p(t) = e^{-\frac{t^m}{t_0}}. \quad (12)$$

Інтенсивність відмов визначається виразом:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{m}{t_0} t^{m-1}. \quad (13)$$

Наробіток на відмову визначається за формулою:

$$t_{\text{ср}} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \cdot t_0^{\frac{1}{m}}, \quad (14)$$

де Γ – гамма-функція.

При $m = 1$ розподіл Вейбула перетворюється в експоненціальний.

Експоненціальний закон розподілу наробітку до відмови широко використовується в інженерній практиці. Для цього закону щільність розподілу наробітку до відмови має вид:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (15)$$

де $\lambda = \lambda(t) = \text{const}$.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається виразом:

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \quad (16)$$

Середній наробіток до відмови пов'язаний з інтенсивністю відмов наступним співвідношенням:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (17)$$

Нормальний закон розподілу (розподіл Гауса) найчастіше зустрічається на практиці. Його використовують, коли випадкова величина залежить від великої кількості випадкових факторів, однорідних за своїм впливом, при цьому вплив кожного з них у порівнянні з усією їхньою сукупністю незначний.

Цим законом розподілу добре описуються результати незалежних вимірювань фізичних величин, а також використовуються при оцінці надійності виробів в процесі їхнього зносу і, відповідно, старіння. Його використовують для визначення часу наробітку до відмови.

Щільність розподілу наробітку до відмови:

$$f(t) = c e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}}, \quad (18)$$

де t_0 і σ^2 – середнє значення і дисперсія випадкових величин відповідно;
 c – стала нормального розподілу:

$$c = \frac{\sqrt{2/\pi}}{\sigma \{1 + \Phi[t_0/\sigma\sqrt{2}]\}}. \quad (19)$$

4. Розрахунок надійності

Розрахунок надійності технічних засобів (ТЗ) зазвичай проводиться у декілька етапів.

Перший етап полягає в описі роботи системи. На цьому етапі визначається зміст терміна «безвідмовна робота технічного засобу» (БР ТЗ) і складається перелік властивостей справного ТЗ і розділення його на елементи.

На другому етапі проводиться класифікація відмов елементів і ТЗ. Оцінюється вплив відмови кожного елемента ТЗ на працездатність ТЗ в цілому.

Третій етап є основним етапом, на якому складається структурна (логічна) модель БР ТЗ. На цьому етапі зазвичай виділяються підсистеми (блоки), в яких при відмові хоча б одного елемента відмовляє весь блок. Для кожного блока проводиться розрахунок надійності. Далі кожен блок нумерується і позначається буквою. Потім перераховуються комбінації блоків, які забезпечують БР ТЗ і, нарешті, складається логічна схема для розрахунку загальної (комбінованої) надійності ТЗ. Часто вона називається ще розрахунково-логічною схемою. Ця схема характеризує стан

(працездатний або непрацездатний) ТЗ залежно від стану окремих елементів (блоків).

У розрахунково-логічних схемах зазвичай застосовують три способи з'єднань елементів (чи блоків):

1. послідовне (основне) з'єднання;
2. паралельно навантажене з'єднання;
3. комбіноване з'єднання елементів в системі.

Послідовне (основне) з'єднання відповідає випадку, коли при відмові одного елемента відмовляє весь ТЗ в цілому (рис. 3).

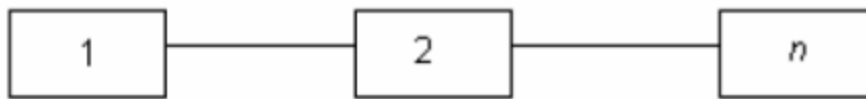


Рисунок 3 – Послідовне (основне) з'єднання елементів ТЗ

Напрацювання до відмови ТЗ в цьому випадку дорівнює напрацюванню до відмови того елемента, у якого вона виявилася мінімальною:

$$T_{ТЗ} \approx \min(T_j), j=1,2,\dots,n, \quad (20)$$

де n – число елементів ТЗ.

Функція надійності ТЗ при такому з'єднанні визначається за формулою:

$$P_{ТЗ}(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t), \quad (21)$$

де $P_j(t)$ – функція надійності j -го елемента.

У зв'язку з цим інтенсивність відмов ТЗ, що складається з n елементів, дорівнює:

$$\lambda_{ТЗ} = \sum_{i=1}^n \lambda_j, \text{ при } \lambda_j = \text{const}. \quad (22)$$

Відповідно середнє напрацювання ТЗ до відмови обчислюється за формулою:

$$T_{\text{TЗсер}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{T_{\text{сер}j}}}, \quad (23)$$

де $T_{\text{сер}j}$ – середнє напрацювання до відмови j -го елемента.

У загальному випадку вираз (4.21) може бути переписаний у вигляді:

$$P_{\text{TЗ}}(t) = \prod_{j=1}^n e^{-\int_0^t \lambda_j(t) dt} = e^{-\sum_{j=1}^n \int_0^t \lambda_j(t) dt}. \quad (24)$$

У окремому випадку, при експоненціальному законі розподілу ймовірність БР елементів ТЗ ($\lambda = \text{const}$), маємо:

$$P_{\text{TЗ}}(t) = e^{-\lambda_{\text{TЗ}} t} = e^{-\frac{t}{T_{\text{TЗсер}}}},$$

де $\lambda_{\text{TЗ}}$ і $T_{\text{TЗсер}}$ визначаються згідно з (22) і (23).

Якщо всі елементи ТЗ рівнонадійні, то:

$$\lambda_{\text{TЗ}} = \sum_{j=1}^k n_j \lambda_j, \quad (25)$$

де n_j – число елементів j -го типу; k – число типів елементів.

При розрахунку ймовірності БР високонадійних ТЗ добуток $\lambda_{\text{TЗ}} t \ll 1$, а $P_{\text{TЗ}}(t)$ близька до одиниці. Розклавши $e^{-\lambda_{\text{TЗ}} t}$ у ряд і обмежившись першими двома його членами, можна з високим ступенем точності визначити ймовірність $P_{\text{TЗ}}(t)$. В цьому випадку ймовірність $P_{\text{TЗ}}(t)$ з послідовним з'єднанням елементів можна визначати за наближеною формулою:

$$P_{\text{TЗ}}(t) = 1 - \lambda_{\text{TЗ}} t. \quad (26)$$

Вираз (26) використовують у випадку, якщо $P_{\text{TЗ}}(t) \geq 0,9$ або навпаки, коли $\lambda_{\text{TЗ}} t \leq 0,1$.

При значеннях ймовірності БР, близьких до одиниці, можна використовувати ще ряд наближених формул:

$$P_{\text{TЗ}}(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t) \approx 1 - \sum_{j=1}^n Q_j(t). \quad (27)$$

При рівнонадійних елементах ТЗ маємо:

$$P_{ТЗ}(t) = P_j^n(t) \cong 1 - nQ_j(t). \quad (28)$$

Паралельно навантажене з'єднання відповідає випадку, коли ТЗ зберігає працездатність, до тих пір, поки працездатний хоча б один з n включених в роботу елементів (рис. 4).

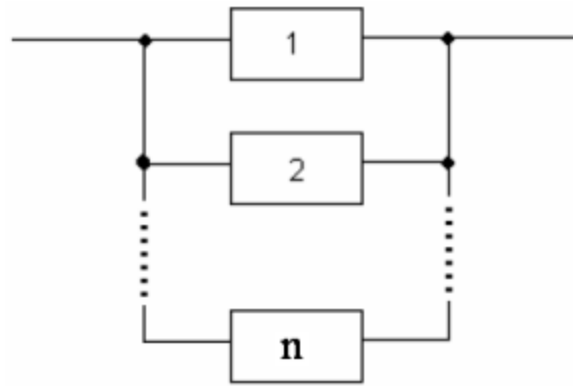


Рисунок 4 – Паралельне навантажене з'єднання

Напрацювання до відмови такого ТЗ дорівнює максимальному з значень напрацювань до відмови елементів:

$$T_{ТЗ} \cong \max(T_j), \quad j=1,2,\dots,n. \quad (29)$$

Функція ненадійності ТЗ при такому з'єднанні елементів має вигляд:

$$Q_{ТЗ}(t) = \prod_{j=1}^n Q_j(t), \quad (30)$$

де $Q_j(t)$ – функція ненадійності j -го елемента.

Оскільки, $P_{ТЗ}(t) = 1 - Q_{ТЗ}(t)$, то:

$$P_{ТЗ}(t) = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_j(t)). \quad (31)$$

При складанні логічної схеми необхідно проводити аналіз наслідків, до яких призводить відмова елемента. Особливо це необхідно проводити, якщо є декілька однакових елементів.

Висновок: Теорія надійності дає кількісний інструментарій для оцінки безвідмовної роботи як засобів пожежного захисту, так і технологічних систем об'єктів підвищеної небезпеки, що є обов'язковою

складовою кількісною оцінкою ризиків НС. Основні показники (ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов) та закони розподілу (експоненціальний, Вейбула) дозволяють моделювати послідовне та паралельне з'єднання елементів, прогнозувати відмови обладнання та оптимізувати технічне обслуговування. Застосування цих моделей на практиці дає змогу запобігати утворенню джерел запалювання та горючого середовища, вчасно виявляти відхилення параметрів і забезпечувати прийнятний рівень ризику на об'єктах підвищеної небезпеки.

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення надійності об'єкта згідно з теорією надійності.
2. Що таке відмова та які її основні види?
3. Чим відрізняється безвідмовність від довговічності?
4. Що таке напрацювання та гарантійне напрацювання?
5. Назвіть основні показники надійності невідновлюваних виробів.
6. Запишіть формулу ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$.
7. Що таке інтенсивність відмов $\lambda(t)$ та її фізичний зміст?
8. Запишіть експоненційний закон надійності та поясніть його застосування.
9. Опишіть три періоди кривої інтенсивності відмов.
10. Як визначається середній наробіток до відмови T ?
11. Які закони розподілу використовуються в теорії надійності?
12. Запишіть щільність розподілу Вейбула та його особливості для пожежної техніки та технологічних систем.
13. Для чого в надійності застосовується нормальний закон розподілу?
14. Які типи структурних з'єднань елементів використовуються в розрахунках надійності?
15. Наведіть приклад, як ненадійність технологічної системи (електрообладнання, насоса, манометра) може стати причиною пожежі або вибуху.

Рекомендована література

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996–01–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25034.
2. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. [Чинний від 1996–01–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51308.
3. 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.

4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [На заміну ДБН В.1.2-14-2009; чинний від 2022–09–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683.

5. 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.

6. Кустов В. Ф. Основи теорії надійності та функціональної безпечності систем : навч. посіб. – Харків : УкрДАЗТ, 2008. 218 с.

7. Васілевський О.М., Ігнатенком О.Г. Нормування показників надійності технічних засобів: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2013. 160 с.

8. Абракітов В.Е. Надійність технічних систем і техногенний ризик: курс лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. 66 с.

9. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

10. Іванов Г.О., Гавриш В.І., Полянський П.М., Гольдшмідт О.В. Надійність технологічних систем: курс лекцій. Миколаїв: МНАУ, 2015. 40 с.

11. Горбачук В.М., Кушлик-Дивульська О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. К: НТУУ «КПІ», 2023. 351 с.

Лекція 6. Основні фактори ризику. Ідентифікація небезпек

План

1. Порядок встановлення вимог до безпечності промислових підприємств.
2. Основні фактори ризику.
3. Ідентифікація небезпек та ризику.

1. Порядок встановлення вимог до безпечності промислових підприємств

Ідентифікація небезпек та ризиків є першим і фундаментальним етапом ризик-орієнтованого підходу до забезпечення пожежної та техногенної безпеки промислових підприємств, оскільки дозволяє виявити всі потенційні джерела небезпеки (техногенні, природні, комбіновані), фактори ураження та можливі сценарії розвитку аварій ще до їх виникнення. Цей процес безпосередньо впливає на кількісну оцінку ризику та є обов'язковим згідно з Наказом МВС № 627, ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 та ДСТУ 3273-95. У лекції розглядаються порядок встановлення вимог до безпечності підприємств, основні фактори ризику та системні методи ідентифікації, що дає можливість переходити від якісного опису небезпек до обґрунтованого управління ризиками.

Загальні положення та вимоги до нормування та забезпечення безпечності промислових об'єктів установлює ДСТУ 3273-95. «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги».

Встановлення вимог до безпечності конкретного підприємства, що будується чи реконструюється, полягає у визначенні складу (номенклатури) показників, які використовують для кількісного опису безпечності, та у визначенні гранично припустимих числових значень (норм) цих показників.

Для підприємств, що являють собою сукупність технологічних комплексів, до складу яких входять об'єкти, що мають потенційну небезпеку (далі – об'єкти), і при цьому для кожного з них можна сформулювати поняття аварій, що можуть виникати і протікати незалежно одна від одної, вимоги до безпечності повинні задаватись для кожного об'єкта, для окремого підприємства в цілому, а також для групи підприємств (промислових вузлів).

Вимоги до безпечності підприємств повинні встановлюватись з урахуванням усієї сукупності чинників, від яких залежить характер та рівень впливу підприємства на реципієнтів.

Підприємства мають бути диференційовані:

- за видами джерел небезпеки (радіаційні, хімічні, біологічні, фізичні, механічні, бактеріологічні, пожежонебезпечні);
- за інтенсивністю джерел небезпеки (постійне випромінювання, залпові викиди, накопичення небезпечного ефекту на поверхні ґрунту тощо);
- за характером та ступенем впливу на реципієнтів;
- за сферою забруднення (атмосфера, гідросфера, літосфера).

Відповідно до перелічених ознак підприємства (об'єкта) формулюються вимоги до його безпечності.

Державне регулювання безпечності спрямоване на зниження до прийняттого рівня впливу небезпечних і шкідливих факторів (зокрема виробничих) і полягає:

1. в розробці принципів, критеріїв та умов, які враховують світовий досвід та вимоги чинних нормативних документів;
2. у виданні нормативних документів з безпеки та якості робіт на всіх стадіях та етапах циклу існування підприємства;
3. у здійсненні державної експертизи;
4. у наданні дозволу або ліцензій на всі види діяльності, визначені державними нормативними документами з безпеки;
5. в інспектуванні проведення робіт на відповідність наданим ліцензіям;
6. у визначенні процедури звітності, структури звіту та переліку параметрів та показників, які повинні бути в ньому відображені.

Вимоги до безпечності підприємства формулюються як у вигляді технічних і організаційних заходів, так і у вигляді гранично допустимих значень показників безпечності.

Технічні та організаційні заходи, що формулюються у вигляді настанов і правил, визначаються вимогами фізичного захисту підприємства. Вони перешкоджають несанкціонованому поширенню дії джерел небезпеки, що є на підприємстві, і попереджають несанкціонований доступ до встановлених проектом вразливих місць.

Види та номенклатура показників безпечності повинні встановлюватись таким чином, щоб надати можливість визначити як

окремих, так і сукупний збиток для різних реципієнтів від впливу окремих факторів, зокрема і транскордонний ефект цього впливу.

Потрібні числові значення показників безпечності встановлюють на підставі аналізу технологічного процесу з урахуванням як наслідків функціонування, так і цінності створюваного продукту чи наданих послуг.

Показники безпечності поділяють на проектні та оперативні. Проектні показники характеризують безпечність, закладену в технічній документації підприємства.

Оперативні показники описують поточні значення рівня безпечності і відображають стан підприємства на час проведення контролю. Оперативні показники служать мірою наближення підприємства до межі безпечної експлуатації і тому для них у проектній документації мають бути встановлені граничні значення.

Висновок про безпечність показників роблять на основі ідентифікації небезпек даного виробництва

2. Основні фактори ризику.

Для забезпечення безпечної експлуатації будь-якого промислового об'єкту необхідне чітке розуміння основних небезпек, що несе в собі дане виробництво. Останні роки активно розвивається новий підхід до забезпечення промислової безпеки, заснований на принципах прийнятного ризику й оптимізації захисних і природоохоронних заходів на основі керування ризиком. Головним постулатом даного підходу є твердження, що абсолютна безпека в принципі не досяжна. Науковим базисом такого підходу є імовірнісний підхід до забезпечення безпеки, а величина збитку розглядається разом з імовірністю її реалізації. Система єдиних кількісних критеріїв ризику дозволяє проводити комплексний аналіз аспектів життєдіяльності суспільства й на основі цього аналізу приймати обґрунтовані рішення по зниженню рівня техногенного ризику для населення й навколишнього середовища. Основним етапом керування безпекою на основі принципу прийнятного ризику є кількісна оцінка ризику.

Оцінювання ризику дає змогу тим, хто приймає рішення, а також відповідальним сторонам краще розуміти ризики, які можуть впливати на досягнення цілей, адекватність та результативність запроваджених засобів контролю. Це забезпечує основу для прийняття рішень щодо найбільш відповідного підходу до обробляння ризиків. Вихідні дані загального

оцінювання ризику є вхідними даними для процесів прийняття рішень в організації.

Загальне оцінювання ризику – це та частина керування ризиком, яка дає можливість мати структурований процес, у ході якого визначають, що може вплинути на досягнення цілей, а також аналізують ризик стосовно наслідків та їхніх ймовірностей, перш ніж приймати рішення щодо необхідності подальшого оброблення ризику.

Першим етапом для оцінки ризику є виявлення потенційних небезпек, тобто їх ідентифікація.

За характером походження небезпеки бувають:

1. природного характеру (стихійні лиха, захворюваність людей, заразні хвороби тварин та рослин тощо);

2. техногенного характеру (транспортні аварії, пожежі, неспровоковані вибухи, аварії з викидом небезпечних хімічних і радіоактивних речовин тощо);

3. соціально-політичні небезпеки (політичні небезпеки: тероризм, збройні конфлікти, війни та інші;

4. соціальні небезпеки: злочинність, алкоголізм, тютюнопаління, наркоманія та інші);

5. комбіновані небезпеки (природно-техногенні небезпеки: озонові діри, кислотні дощі, опустелювання, парниковий ефект тощо; природно-соціальні небезпеки: епідемії інфекційних захворювань, венеричні захворювання, СНІД).

У залежності від умов ведення технологічного процесу, властивостей речовин та матеріалів, що обертаються на підприємстві чи транспортуються, небезпеки техногенного характеру найчастіше характеризуються наступними видами аварій:

- аварії на транспорті
- пожежі;
- вибухи;
- аварії з витоком небезпечних хімічних речовин (аміаку, хлору, сірчаної та азотної кислот, чадного газу, сірчаного газу та інших речовин);
- аварії з викидом радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Незалежно від джерела виникнення НС мають практично одні й ті ж **небезпечні чинники впливу на людину та навколишнє середовище:**

- вплив ударної хвилі під час вибуху газоповітряних (паливоповітряних) сумішей, вибухових речовин, технологічних установок та ін.;

- термічний вплив при пожежах будівель і споруд, пожеж розливу, лісових пожеж та ін.;
- токсичний вплив хімічної зброї, викидів небезпечних хімічних речовин (НХР), шлейф пожеж та ін.;
- механічний вплив при враженні осколками, при руйнуванні будівель і споруд, вибухах вибухонебезпечних предметів (ВНП) та ін.;
- вплив іонізуючого випромінювання.

Кожна надзвичайна ситуація, у тому числі й техногенного характеру, характеризується чинниками впливу (одним або декількома) джерела виробничих аварій.

Фактор ураження джерела техногенної НС – складова небезпечної події, що характеризується фізичними, хімічними і біологічними діями і проявами, які виражені відповідними параметрами.

Дія ураження джерела техногенної НС – негативний вплив одного або сполучених факторів ураження джерела техногенної надзвичайної ситуації на життя і здоров'я людей, сільськогосподарських тварин і рослин, суб'єкти господарської діяльності та довкілля.

Небезпечний чинник – складова частина небезпечного явища (пожежа, вибух, викидання, загроза викидання небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин) або процесу, що характеризується фізичною, хімічною, біологічною чи іншою дією (впливом), перевищенням нормативних показників і створює загрозу життю та/або здоров'ю людини.

Небезпечні чинники впливу джерел виробничих аварій класифікують як по характеру розвитку та протікання (генезисом), так і по механізму дії.

Чинники впливу джерел виробничих аварій **за генезисом розділяють на:**

- прямої дії (первинні);
- побічної дії (вторинні).

Первинні чинники впливу безпосередньо виникають внаслідок впливу джерела техногенної надзвичайної ситуації.

Вторинні чинники впливу виникають внаслідок зміни об'єктів навколишнього природного середовища первинними факторами ураження.

Чинники впливу джерел виробничих аварій **по механізму дії розділяють на:**

- фізичної дії;
- хімічної дії.

До чинників впливу фізичної дії відносяться:

- повітряна ударна хвиля;
- хвиля тиску в ґрунті;
- сейсмічна вибухова хвиля;
- хвиля прориву гідротехнічних споруд;
- уламки або осколки;
- екстремальний нагрів середовища;
- теплове випромінювання;
- іонізуюче випромінювання.

До чинників впливу хімічної дії відноситься:

- токсична дія небезпечних хімічних речовин.

Повітряна ударна хвиля, що виникає внаслідок вибухів легкозаймистих і вибухових речовин, яка має наступні параметри фактору ураження:

- надлишковий тиск у фронті ударної хвилі;
- тривалість фази тиску;
- імпульс фази тиску.

Хвиля тиску в ґрунті, що виникає внаслідок вибухів легкозаймистих і вибухових речовин, яка має наступні параметри фактору ураження:

- максимальний тиск;
- час дії тиску;
- час збільшення тиску до максимуму.

Сейсмічна вибухова хвиля, що виникає внаслідок потужних вибухів вибухових речовин і має наступні параметри фактору ураження:

- швидкість розповсюдження хвилі;
- максимальне значення масової швидкості ґрунту;
- час наростання напруги в хвилі до максимуму.

Хвиля прориву гідротехнічних споруд, що виникає внаслідок прориву гребель, шлюзів, дамб тощо і має наступні параметри фактору ураження:

- швидкість хвилі прориву;
- глибина хвилі прориву;
- температура води;
- час існування хвилі прориву.

Уламки, осколки, що виникають при вибухах легкозаймистих і вибухових речовин і має наступні параметри фактору ураження:

- маса уламка (осколка);
- швидкість розлітання уламку, осколку.

Екстремальний нагрів середовища, що виникає при пожежах, вибухах легкозаймистих і вибухових речовин і має наступні параметри фактору ураження:

- температура середовища;
- коефіцієнт тепловіддачі;
- час дії джерела екстремальних температур.

Теплове випромінювання, що виникає при пожежах, вибухах і має наступні параметри фактору ураження:

- енергія теплового випромінювання;
- потужність теплового випромінювання;
- час дії джерела теплового випромінювання.

Іонізуюче випромінювання, що виникає при аваріях (катастрофах) з викидом радіоактивних речовин і має наступні параметри фактору ураження:

- активність радіонуклідів в джерелі;
- щільність радіоактивного забруднення місцевості;
- концентрація радіоактивного забруднення;
- концентрація радіонуклідів.

Активність радіонукліда в джерелі іонізації – радіоактивність, що дорівнює відношенню числа мимовільних ядерних перетворень в джерелі за малий інтервал часу до цього інтервалу.

Щільність радіоактивного забруднення місцевості – це ступінь радіоактивного забруднення місцевості.

Токсична дія що виникає при аваріях (катастрофах) з викидом небезпечних хімічних речовин і має наступні параметри фактору ураження:

- концентрація небезпечної хімічної речовини в середовищі;
- щільність хімічного зараження місцевості і об'єктів.

Щільність забруднення небезпечними хімічними речовинами – ступінь хімічного зараження місцевості.

З початком збройної агресії чи не найбільш актуальною проблемою є вибухи, спричинені вибухонебезпечними предметами. Небезпечними чинниками вибуху ВНП є:

- ураження уламками внаслідок вибуху (первинних і вторинних);
- вплив ударної хвилі;
- термічний вплив;

- хімічне ураження;
- руйнування будівель, споруд, інженерних мереж та комунікацій.

Вибухи ВВП спричиняють важкі поранення та загибель значної кількості осіб, руйнування споруд, що спричиняє додаткове ураження. Якщо вибух відбувається на об'єктах з наявністю пожежовибухонебезпечних речовин, небезпечних хімічних речовин, це може бути причиною масштабних надзвичайних ситуацій, що збільшує ризик ураження персоналу об'єкта та цивільного населення, призводить до ризику забруднення навколишнього середовища.

3. Ідентифікація небезпек та ризику.

На сьогодні нормативними документами України визначено два поняття ідентифікації (ідентифікування) ризику:

Ідентифікація ризику – процес виявлення, складання переліку та опису складових ризику (Наказ МВС України від 31.07.2023 р. № 627 «Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж»);

Ідентифікування ризику – це процес виявлення, усвідомлення та реєстрування ризиків (ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 «Керування ризиками – методи оцінки ризиків»).

Надалі будемо розглядати ці визначення як тотожні.

Призначення ідентифікації ризику – визначити, що може статися, або які можуть виникнути ситуації, що можуть впливати на досягнення цілей системи чи організації. Після того, як ризик ідентифіковано, організація має визначити будь-які наявні засоби контролювання, зокрема стосовно конструктивних особливостей, персоналу, процесів і систем.

Процес ідентифікації ризику охоплює визначення причин і джерела ризику (небезпеки в контексті фізичної шкоди), подій, ситуацій або обставин, які можуть чинити матеріальний вплив на досягнення цілей, а також визначення характеру цього впливу.

Методами ідентифікації ризику можуть бути:

- доказові методи, наприклад, застосування переліків контрольних запитань і критичне аналізування хронологічних даних;
- системні методи групової роботи, коли група експертів систематично ідентифікує ризики за допомогою структурованого набору навідних фраз або запитань;
- методи індуктивного мислення, наприклад, HAZOP.

Щоб поліпшити точність і повноту ідентифікації ризику, можна використовувати різноманітні допоміжні методи, зокрема «мозкову атаку» та метод Делфі.

Незалежно від фактично застосованих методів під час ідентифікації ризику особливу увагу важливо приділяти людським та організаційним чинникам. Тому під час процесу ідентифікації ризику треба враховувати відхилення людських і організаційних чинників від очікуваних станів, а також події, пов'язані з технічними та програмними засобами.

Основні завдання етапу ідентифікації небезпек – виявлення й чіткий опис всіх джерел небезпек і шляхів (сценаріїв) їхньої реалізації. Це відповідальний етап аналізу, тому що не виявлені на цьому етапі небезпеки не піддаються подальшому розгляду й зникають із поля зору.

Ідентифікація по суті – це великий об'єм роботи, пов'язаної зі збором та аналізом інформації. Процес ідентифікації зводиться до послідовного розгляду наступних питань:

- вивчення особливостей технологічного процесу, відомостей про властивості речовин і матеріалів, що обертаються в технологічному процесі;
- визначення потенційних джерел небезпеки, притаманних для об'єкта ідентифікації;
- аналіз ймовірних видів аварій та характерних для них небезпечних чинників впливу на людину та навколишнє середовище;
- визначення критичних значень параметрів небезпечних чинників надзвичайних ситуацій для людини, будівель та споруд тощо;
- аналіз ймовірних шляхів (сценаріїв) розвитку надзвичайної ситуації.

При ідентифікації варто визначити, які елементи, технічні пристрої, технологічні блоки або процеси в технологічній системі вимагають більш серйозного аналізу і які становлять менший інтерес із погляду безпеки.

Результатом ідентифікування небезпек є:

- перелік небажаних подій;
- опис джерел небезпеки, факторів ризику, умов виникнення й розвитку небажаних подій (наприклад, сценаріїв можливих аварій);
- попередні оцінки небезпеки й ризику (наприклад, при ідентифікації небезпеки, при необхідності, можуть бути представлені показники небезпеки речовин, що задіяні в технологічному процесі, оцінки наслідків для окремих сценаріїв аварій та ін.).

Побудова сценаріїв розвитку аварії. Для визначення характерних факторів небезпеки на потенційно небезпечних об'єктах пропонується загальна схема імовірнісної моделі виникнення й розвитку аварії. Блок-схема моделі представлена на рис. 1.

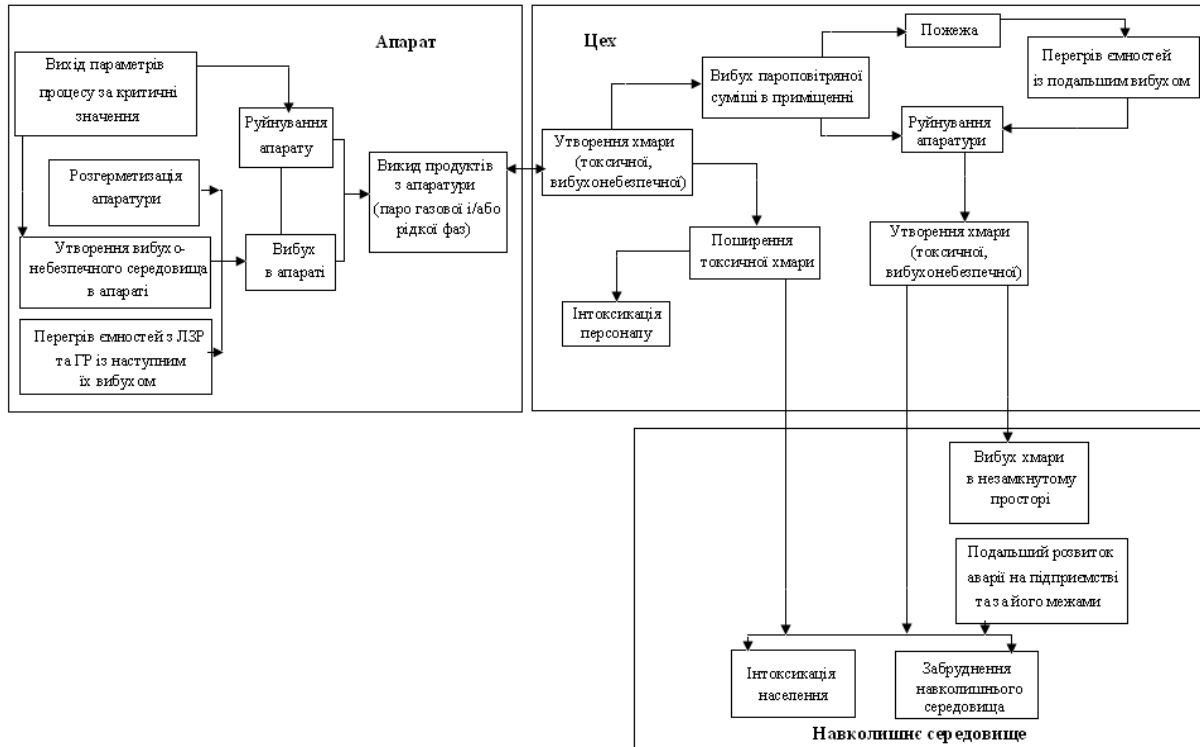


Рисунок 1 – Схема виникнення та розвитку аварійної ситуації

Відповідно до цієї схеми в кожній аварійній ситуації виділено три фази:

Фаза 1 – період виникнення аварійної ситуації в межах одного технологічного блоку (апарата, процесу);

Фаза 2 – розвиток аварії в межах цеху, ділянки виробництва й загроза ланцюгового розвитку аварії з виходом за межі локальної ділянки технологічного блоку й залученням в аварійний процес усього технологічного об'єкта; ця фаза становить небезпеку в основному для працюючих на даному підприємстві;

Фаза 3 – ланцюговий розвиток аварії на рівні технологічних об'єктів з можливим руйнуванням будинків і споруджень; істотні руйнування й загибель людей можуть відбутися на всій території підприємства та за його межами.

Ідентифікація небезпек завершується також вибором подальшого напрямку діяльності. Як варіанти подальших дій може бути:

- рішення припинити подальший аналіз через незначність небезпек або достатності отриманих попередніх оцінок (у цьому випадку під ідентифікацією небезпек мається на увазі аналіз або оцінка небезпек);

- рішення про проведення більш детального аналізу небезпек і оцінки ризику;

- розробка попередніх рекомендацій для зменшення небезпек.

Для забезпечення безпечної експлуатації будь-якого промислового об'єкту необхідне чітке розуміння основних небезпек, що несе в собі дане виробництво. Першим етапом для оцінки ризику є виявлення потенційних небезпек, тобто їх ідентифікація – виявлення й чіткий опис всіх джерел небезпек і шляхів (сценаріїв) їхньої реалізації. .

Висновок. Ідентифікація небезпек та ризиків є основою ефективного управління ризиками на промислових підприємствах, оскільки дозволяє виявити джерела небезпеки, фактори ураження та сценарії розвитку аварій і забезпечити перехід від якісного аналізу до кількісної оцінки. Застосування системних методів (HAZOP, SWIFT, мозкової атаки) у поєднанні з імовірнісним підходом дає змогу оптимізувати превентивні заходи та привести ризик до прийняттого рівня. Правильна ідентифікація є запорукою безпечної експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки та запобігання масштабним наслідкам надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Питання для самоконтролю

1. Який стандарт встановлює загальні вимоги до безпечності промислових підприємств?
2. За якими чотирма ознаками диференціюються підприємства за рівнем небезпеки?
3. Що таке ідентифікація ризику згідно з Наказом МВС №627?
4. Назвіть основні види небезпек за характером походження.
5. Які види аварій техногенного характеру найчастіше зустрічаються на промислових об'єктах?
6. Що таке первинні та вторинні чинники впливу?
7. Назвіть чинники фізичної та хімічної дії ураження.
8. Які параметри характеризує повітряна ударна хвиля?
9. Які три фази розвитку аварійної ситуації виділяються в імовірнісній моделі?
10. Які методи ідентифікації ризику рекомендує ДСТУ EN ІЕС 31010:2022?
11. Що є результатом ідентифікації небезпек?
12. У чому полягає відмінність між проектними та оперативними показниками безпечності?
13. Які етапи встановлення вимог до безпечності підприємства?
14. Наведіть приклади техногенних аварій з витоком НХР.

15. Як ідентифікація ризиків пов'язана з подальшим управлінням ризиками?

Рекомендована 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. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. [Чинний від 1996-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48089.

3. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2008-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28519.

4. ДСТУ 7097:2009. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Джерела техногенних надзвичайних ситуацій. Класифікація й номенклатура параметрів уражальних чинників. [Чинний від 2011-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56875.

5. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322.

6. 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.

7. Про затвердження Порядку управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 31 липня 2023 р. № 627. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>.

8. Гіроль М.М., Нинник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: підручник. Рівне: УДУВГП, 2004. 452 с.

9. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Жартовський В.М., Найверт А.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Астон, 2006. 424 с.

10. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

11. Федоренко Г., Фесенко Г., Харченко В. Аналіз методів і розроблення концепції гарантованого виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2022. №4 (22). С. 20–31. URL: <https://journals.uran.ua/itssi/article/view/271062>.

Лекція 7. Розрахунок параметрів небезпечних чинників пожежі

План

1. Небезпечні чинники пожеж.
2. Розрахунок небезпечних чинників пожежі.

1. Небезпечні чинники пожеж.

Процес неконтрольованого горіння супроводжується виділення значної кількості теплової енергії, появою у навколишньому середовищі токсичних речовин, небезпечних та шкідливих для організму людини, що знаходяться в зоні його впливу.

Тяжкість впливу негативних та шкідливих чинників, пов'язаних з пожежами, зумовлена зростанням енергонасиченості виробництв, збільшенням щільності інженерних комунікацій, підвищенням рівня температур та тиску в технологічному устаткуванні, що збільшує масштабність пожеж та тяжкість їх наслідків.

Небезпечними чинниками пожежі є:

- полум'я та іскри;
- підвищена температура оточуючого середовища;
- токсичні продукти згоряння і термічного розкладання;
- дим;
- знижена концентрація кисню.
- До вторинних проявів небезпечних чинників пожежі відносяться:
 - уламки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій будівель і споруд;
 - радіоактивні та токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів та установок;
 - електричний струм, що виник в результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів;
 - небезпечні чинники вибуху (ударна хвиля, полум'я, уламки конструкцій, обладнання, комунікацій будівель і споруд, шкідливі речовини, що вивільнились в наслідок вибуху), який виник в наслідок пожежі;
 - негативні наслідки, обумовлені застосуванням вогнегасних речовин.

Небезпека відкритого полум'я та підвищеної температури оточуючого середовища для організму людини в умовах пожежі зумовлена високою

температурою пожежі, що становить 1100–1300 °С. Тривалість часу, протягом якого людина може переносити критичні температури становить 10–15 с. Вдихання розігрітого до 60°C повітря призводить до некрозу верхніх дихальних шляхів та опіків легеневої тканини. Вдихання нагрітого під час пожежі повітря понад 100°C призводить до втрати свідомості, а відтак загибелі вже через декілька хвилин.

Небезпека токсичних продуктів згоряння і термічного розкладання зумовлена дією окремих токсичних сполук на організм людини та їх синергічним ефектом, що посилюється із зростанням температури димових газів. Механізм впливу токсичних сполук залежить від їх виду. Оксид вуглецю спричиняє найбільшу кількість жертв через те, що червоні кров'яні тільця втрачають здатність забезпечувати організм людини киснем через створення карбоксигемоглобіну.

Небезпека диму пов'язана із втратою видимості через задимлення, що створює загрозу під час евакуювання людей, особливо, якщо матеріали мають високу димоутворювальну здатність.

Знижена концентрація кисню – небезпечним під час пожежі є концентрація кисню до 14–16%. При 10–12% смерть настає протягом кількох хвилин.

Руйнування будівельних конструкцій, які в умовах пожежі втрачають вогнестійкість і міцність, призводить до травмування і загибелі людей.

Під час пожежі виділяється велика кількість тепла. Для кількісної оцінки теплової енергії на одиницю площі користуються поняттям **інтенсивності теплового випромінювання (кВт/м²)**, що використовується ДСТУ Б.В.1.1-36:2016.

Основним уражальним чинником пожеж на відкритій місцевості є тепловий вплив полум'я на людину. Час впливу теплового випромінювання на об'єкти визначається часом, необхідним для прийняття заходів по локалізації пожежі (приймається 15 хвилин) або захисту об'єктів на близькій відстані.

Виходячи з цього, визначені порогові значення інтенсивності теплового випромінювання при пожежах та наслідки їх впливу на людину і деякі речовини та матеріали (табл. 1).

Табл. 1 – Критичні значення інтенсивності теплового потоку $q_{кр}$ та наслідки їх впливу на людину і деякі речовини та матеріали

$q_{кр}$, кВт/м ²	Час до появи	
	більшових відчуттів, с (події)	опіків II ступеня, с (хв.) (події)
30,0	1	2
22,0	2	3
18,0	2,5	4,3
11,0	5	8,5
8,0	8	13,5
5,0	16	25
4,2	15–20	40
1,5	безпечно	безпечно
14,0	займання деревини	через 10 хвилин
17,5	займання деревини	через 5 хвилин
35,0	спалахування ЛЗР	через 3 хвилини
41,0	спалахування ГР	через 3 хвилини

Значення $q_{кр}$ (за тривалості опромінення 15 хв.) для деяких матеріалів пожежної навантаги наведені у табл. 2.

Табл. 2 – Значення $q_{кр}$ для деяких матеріалів пожежної навантаги

Матеріал	$q_{кр}$, кВт/м ²
Деревина (сосна вологістю 12 %)	13,9
Деревостружкові плити (питома вага 417 кг/м ²)	8,3
Торфобрикети	13,2
Торф кусковий	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Шаруватий пластик	15,4
Склопластик	15,3
Пергамін	17,4
Гума	14,8
Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8 %)	7,0

Значення $q_{кр}$, що викликає ураження різного ступеня тяжкості у людини, наведені у табл. 3.

Табл. 3 – Значення $q_{кр}$, що викликає ураження різного ступеня тяжкості у людини

Ступінь ураження	$q_{кр}$, кВт/м ²
Без негативних наслідків впродовж тривалого терміну	1,4
Безпечно для людини в брезентовому одязі	4,2
Нестерпний біль через 20-30 с Опік 1 ступеня через 15-20 с Опік 2 ступеня через 30-40 с	7,0
Нестерпний біль через 3-5 с Опік 1 ступеня через 6-8 с Опік 2 ступеня через 12-16 с	10,5

Критичні значення інтенсивності теплового потоку слід використовувати для оцінки можливих наслідків від пожеж у процесі загального оцінювання ризику.

2. Розрахунок небезпечних чинників пожежі.

Ризик враження людей на пожежовибухонебезпечних об'єктах значною мірою залежить від технологічного процесу виробництва та властивостей і кількості речовин, що беруть у ньому участь. Тому, для визначення ризиків ураження людей на пожежовибухонебезпечних об'єктах необхідно розглянути методики для оцінки наслідків аварій на пожежо-, вибухонебезпечних об'єктах.

Основним небезпечним чинником (фактором) пожежі на вибухонебезпечних об'єктах є інтенсивність теплового випромінювання.

Метод розрахунку інтенсивності теплового випромінювання від вогнища пожежі визначено ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.

Інтенсивність теплового випромінювання розраховують для двох варіантів пожежі (або для того з них, який може бути реалізований у даній технологічній установці):

а) горіння розливів ЛЗР та ГР або твердих горючих матеріалів (включно з пилом);

б) «вогняна куля» – великомасштабне дифузійне горіння, що відбувається у разі розриву резервуара з горючою рідиною або газом під тиском, із займанням вмісту резервуара.

Якщо можлива реалізація обох варіантів, то під час оцінювання значень критеріїв за пожежною небезпекою враховуються більше з двох значень інтенсивності теплового випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання q у кіловатах на квадратний метр ($\text{кВт}/\text{м}^2$) під час горіння розливів горючих рідин або твердих горючих матеріалів обчислюють за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \quad (1)$$

де E_f – середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, $\text{кВт}/\text{м}^2$;

F_q – коефіцієнт кутового опромінення;

ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення E_f приймають на основі експериментальних даних. Для деяких видів рідкого вуглеводневого палива значення E_f наведені у таблиці 4. У разі відсутності даних величину E_f приймають: $100 \text{ кВт}/\text{м}^2$ – для ЗВГ; $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ – для нафтопродуктів і твердих матеріалів.

Табл. 4 – Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я E_f залежно від діаметра вогнища пожежі й питома масова швидкість вигорання M_v для деяких видів рідкого вуглеводневого палива

Паливо	$E_f, \text{кВт}/\text{м}^2$					$M_v, \text{кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$
	$d = 10 \text{ м}$	$d = 20 \text{ м}$	$d = 30 \text{ м}$	$d = 40 \text{ м}$	$d = 50 \text{ м}$	
ЗПГ(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 пальне	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04

Примітка. Для діаметрів вогнищ пожежі менше 10 м або більше 50 м потрібно приймати величину E_f таку саму, як і для вогнищ пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно.

За відсутності даних величину E_f приймають $100 \text{ кВт}/\text{м}^2$ для ЗВГ, $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ – для нафто продуктів, $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ – для твердих матеріалів

Розраховують характерний розмір розливу рідини d у метрах за

формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (2)$$

де F – площа розливу, м².

Обчислюють висоту полум'я H у метрах за формулою:

$$H = 42 \cdot d \left(\frac{M_v}{\rho_{\text{п}} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right), \quad (3)$$

де M_v – питома масова швидкість вигорання палива, кВт/м²·с;

$\rho_{\text{п}}$ – густина навколишнього повітря, кг/м³;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення F_q за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (4)$$

де F_V , F_H – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної площадок відповідно, які визначаються за формулами:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (5)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right], \quad (6)$$

$$A = \frac{(h^2+S^2+1)}{2 \cdot S}, \quad (7)$$

$$B = \frac{(1+S^2)}{2 \cdot S}, \quad (8)$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d}, \quad (9)$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d}, \quad (10)$$

де r – відстань від геометричного центра розливу (від зовнішньої

установки) до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ за формулою:

$$\psi = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5d)]. \quad (11)$$

Інтенсивність теплового випромінювання для «вогняної кулі» q (кВт/м²), обчислюють за формулою (1).

Величину E_f визначають на основі експериментальних даних. За їх відсутності приймають кВт/м².

Значення F_q за формулою:

$$F_q = \frac{H/D_S + 0,5}{4 \cdot [(H/D_S + 0,5)^2 + (r/D_S)^2]^{1,5}}, \quad (12)$$

де H – висота центра «вогняної кулі», м;

D_S – 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 «вогняної кулі» D_S , м, визначають за формулою:

$$D_S = 5,33m^{0,327}, \quad (13)$$

де m – маса горючої речовини, кг.

Значення H визначають у ході спеціальних досліджень. За їх відсутності приймають $D_S/2$.

Проміжок часу існування «вогняної кулі» t_S , с, визначають за формулою:

$$t_S = 0,92m^{0,303}, \quad (14)$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ розраховують за формулою:

$$\psi = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_S/2)]. \quad (15)$$

Методи розрахунку інтенсивності теплового випромінювання від

вогнища пожежі, що наведені вище, визначено ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Вони є основними, проте не єдині. При визначенні наслідків НС, пов'язаних із пожежами дозволяється використовувати й інші методи.

Висновок. Точний розрахунок параметрів небезпечних чинників пожежі (зокрема інтенсивності теплового випромінювання) дає змогу визначати критичні відстані, час допустимого перебування людей у зоні впливу та необхідні заходи захисту, що є обов'язковою частиною кількісної оцінки ризику. Застосування формул ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 для сценаріїв горіння розливу та «вогняної кулі» дозволяє обґрунтовано планувати превентивні заходи та приводити ризик до прийняттого рівня. Без цих розрахунків неможливо виконати повноцінну оцінку пожежної безпеки об'єктів підвищеної безпеки та забезпечити безпеку персоналу й населення.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні небезпечні чинники пожежі.
2. Які вторинні прояви небезпечних чинників пожежі ви знаєте?
3. Яка температура полум'я під час пожежі?
4. Чому оксид вуглецю є найбільш небезпечним токсичним продуктом згорання?
5. Що таке інтенсивність теплового випромінювання q та в яких одиницях вона вимірюється?
6. Для яких двох сценаріїв пожежі розраховують q за ДСТУ Б.В.1.1-36:2016?
7. Запишіть формулу розрахунку q для горіння розливу горючих рідин.
8. Як визначається середньоповхнева густина теплового випромінювання E ?
9. Запишіть формулу характерного розміру розливу d .
10. Як обчислюється висота полум'я H ?
11. Що таке коефіцієнт пропускання теплового випромінювання ψ та від чого він залежить?
12. Запишіть формулу q для сценарію «вогняної кулі».

Рекомендована література

1. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2008–07–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28519.

2. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. [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.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Гіроль М.М., Нинник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: підручник. Рівне: УДУВГП, 2004. 452 с.
8. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Жартовський В.М., Найверт А.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. Тернопіль: Астон, 2006. 424 с.
9. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека / за ред. В.В. Могильниченка. Київ: КІМ, 2007. 636 с.
10. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
11. Левчук К.О., Романюк Р.Я., Толок А.О. Цивільний захист: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 325 с.
12. Коровникова Н.І., Роянов О.М., Григоренко О.М. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 232 с.

Лекція 8. Розрахунок параметрів небезпечних чинників вибуху

План

1. Небезпечні чинники вибухів.
2. Розрахунок небезпечних чинників вибуху.
3. Вибухи вибухонебезпечних предметів.

1. Небезпечні чинники вибуху.

Вибух являє собою швидкоплинний процес хімічного або фізичного перетворення речовини, що супроводжується вивільненням великої кількості енергії в обмеженому об'ємі. У результаті вибуху утворюється й поширюється ударна хвиля, здатна створити загрозу життю й здоров'ю людей, завдати шкоди економіці й навколишньому середовищу, а також стати джерелом НС.

Класифікація вибухів

Більшість вибухів має **хімічний** характер (рис. 1), що представляє собою по суті процес горіння, що протікає з величезною швидкістю (сотні м/с). Енергоносіями таких вибухів можуть бути тверді, рідкі й газоподібні речовини, а також аерозолі й аерозависі горючих речовин (пил, туман) у повітрі. Деякі тверді й рідкі вибухові речовини (ВР) мають окислювач у своїй хімічній структурі і тому можуть вибухати в умовах відсутності кисню (повітря).

До вибухів, обумовлених **фізичними** процесами, відносяться вибухи стиснених газів і перегрітої пари. Звичайно вибухи такого роду зустрічаються досить рідко, в основному, при аваріях. Прикладом вибуху, обумовленого фізичними процесами, є, частково, вибух парогазової суміші на Чорнобильській АЕС. До фізичних вибухів відноситься також явище фізичної детонації – вибух при змішанні гарячої й холодної рідин, коли температура однієї істотно перевершує іншу (особливо коли температура однієї із речовин перевищує температуру кипіння іншої).

Специфічний різновид вибуху являє собою **об'ємний вибух газоповітряних сумішей і аерозависів**, якому завжди передують утворення об'ємної хмари, де горючий компонент присутній у суміші з окислювачем (киснем повітря) у певній концентрації (у межах від нижньої до верхньої концентраційних меж поширення полум'я).

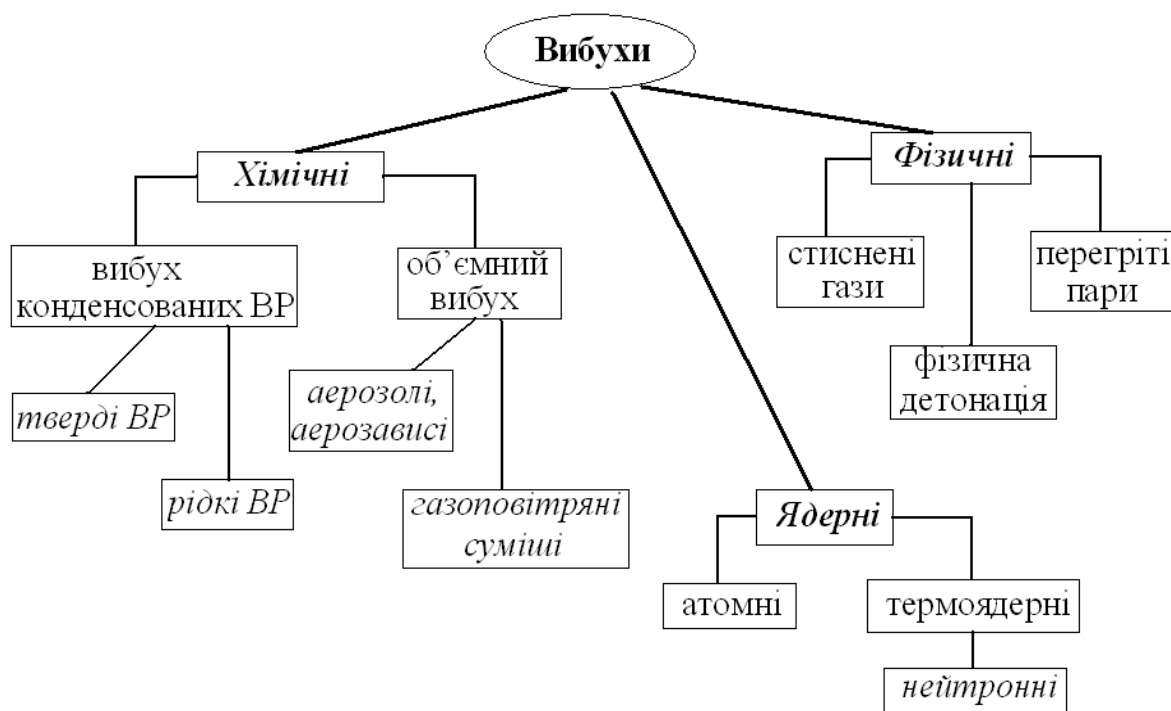


Рисунок 1 – Класифікація вибухів

Енергія згоряння багатьох парогазових сумішей при об'ємному вибуху в багато разів перевершує енергію згоряння твердих речовин, а швидкість поширення ударної хвилі в межах хмари ВР може досягати 1–3 км/с, що визначає величезну руйнівну силу об'ємних вибухів. Крім того, проникаючи в приміщення через вікна й прорізи, хмара ВР може вражати людей і здійснювати руйнування усередині приміщень і за перешкодами.

Швидкість згорання речовини становить:

- під час горіння – міліметри-сантиметри за секунду;
- під час спалаху – десятки метрів за секунду;
- під час вибуху – сотні метрів за секунду;
- під час детонації 1–4 км/с.

Газопароповітряні (ГППС) і пилоповітряні суміші утворюють клас об'ємних вибухів.

Вибухи ГППС можуть відбуватися в:

- приміщеннях внаслідок витoku газів з побутових приладів;
- ємностях їх зберігання і транспортування (спецрезервуарах, газгольдерах, цистернах, танках - вантажних відсіках танкерів);
- глибинних штреках гірських виробок;
- природного середовищу внаслідок пошкоджень трубопроводів, труб свердловин, при інтенсивних витоках зріджених і горючих газів.

Вибухи пилу (пилоповітряних сумішей – аерозолів) представляють одну з основних небезпек хімічних виробництв і відбуваються в обмежених просторах (в приміщеннях будівель, усередині різного устаткування, штольнях шахт). Можливі вибухи пилу в борошномельному виробництві, на зернових елеваторах (борошняний пил) при її взаємодії з барвниками, сіркою, цукром з іншими порошкоподібними харчовими продуктами, а також при виробництві пластмас, лікарських препаратів, на установках дроблення палива (вугільного пилу), в текстильному виробництві.

Скраплені вуглеводневі гази, аміак, хлор, фреони зберігаються в технологічних ємностях під тиском при температурі вище або рівною температурі навколишнього середовища, і з цих причин вони є вибухонебезпечними рідинами.

В теплоізольованих судинах і резервуарах при негативних температурах зберігаються зріджені гази метан, азот, кисень, які називають криогенними речовинами.

Речовини іншої характерною групи пропан, бутан, аміак, хлор зберігають у рідкому стані під тиском в одношарових судинах і резервуарах при температурі навколишнього середовища.

Особливо необхідно виділити **вибухи вибухонебезпечних предметів**.

Вибухонебезпечний предмет – пристрій або речовина, що здатні за певних умов (наявність джерела ініціювання, збудження та ін.) швидко виділяти хімічну, внутрішньоядерну, електромагнітну, механічну та інші види енергій.

До основних видів вибухонебезпечних предметів належать:

- боєприпаси:
- авіаційні бомби (авіаційні касети, запалювальні баки та ін.);
- ракети (бойові частини ракетних систем, снаряди систем залпового вогню);
- артилерійські боєприпаси (постріли і снаряди польової, танкової, самохідної, корабельної та зенітної артилерії, торпеди, мінометні постріли і міни, боєприпаси протитанкових ракетних комплексів та протитанкових гранатометів, патрони авіаційних гармат та кулеметів);
- інженерні боєприпаси (морські, протитанкові та протипіхотні міни, вибухові речовини);
- ручні гранати;
- стрілецькі боєприпаси (набої до стрілецької зброї – пістолетів,

карабінів, автоматів та ручних кулеметів);

- піротехнічні засоби;
- патрони (сигнальні, освітлювальні, імітаційні, спеціальні);
- вибухові речовини (у вигляді шашок, вибухові пакети);
- ракети (освітлювальні, сигнальні);
- димові шашки;
- саморобні вибухові пристрої:
- міни-пастки;
- міни-сюрпризи, що імітують предмети, які привертають уваги

(предмети побуту, іграшки, широкоживані речі).

Вибухові речовини (ВР) – хімічні сполуки або їхні суміші, що під впливом зовнішнього імпульсу (удару, сколу, тертя, нагріву, електричного розряду та ін.) здатні вибухати (до швидкоплинного хімічного перетворення з виділенням значної кількості тепла та газоподібних продуктів).

Основні властивості вибухових речовин.

Основні властивості ВР визначаються вибуховими та фізико-хімічними характеристиками.

Вибуховими характеристиками є:

- теплота вибуху і температура продуктів вибуху;
- швидкість детонації;
- бризантність (здатність дробити прилеглу до нього середовище);
- працездатність (фугасність).

Теплота вибуху і температура продуктів вибуху.

З фізики відомо, що енергія і тепло, що виділяються в процесі реакції, знаходяться в прямій залежності між собою, тому кількість енергії, що виділяється при вибуху, і теплота є важливою характеристикою енергетичної ВВ, визначає його працездатність. Чим більше виділено теплоти, тим вище температура нагріву продуктів вибуху, тим більше тиск, а отже, і вплив продуктів вибуху на навколишнє середовище.

Від швидкості детонації ВР залежить швидкість вибухового перетворення, а отже, і час, протягом якого виділяється вся енергія, укладена в ВР. А це разом з кількістю тепла, що виділяється при вибуху, характеризує потужність, що розвивається вибухом.

Бризантність ВР характеризується миттєвим стрибком тиску до дуже високих величин і швидким його падінням до атмосферного і нижче.

Працездатність ВР (фугасність) проявляється у формі викиду ґрунту з воронки і виїмок, утворенням порожнин у ґрунтах і скельних породах і розпушуванням їх.

Основні уражальні фактори (чинники) і зони дії вибуху.

Пожежовибухові явища характеризуються наступними факторами:

- повітряною ударною хвилею, що виникає при різного роду вибухах газоповітряних сумішей, резервуарів з перегрітою рідиною і резервуарів під тиском;
- тепловим випромінюванням;
- розлітанням осколків;
- дією токсичних речовин, які застосовувалися в технологічному процесі або утворилися під час вибуху.

Дія повітряної ударної хвилі може спричинити вторинні наслідки, тому що при вибуху вибухової речовини в атмосфері виникають ударні хвилі, що поширюються з великою швидкістю у вигляді областей стиснення. Ударна хвиля досягає земної поверхні і відбивається від неї на деякій відстані від епіцентру вибуху, фронт відбитої хвилі зливається з фронтом падаючої хвилі, внаслідок чого утворюється так звана головний хвиля з вертикальним фронтом.

При наземному вибуху повітряна ударна хвиля, як і при повітряному вибуху, поширюється від епіцентру з вертикальним фронтом.

При підземному вибуху повітряна ударна хвиля послаблюється ґрунтовим середовищем. При вибуху на малих глибинах має місце тільки хвиля від виходу газів. А на великих глибинах при наявності камуфлетів (розривів без утворення воронки) виявляється тільки «наведена» хвиля.

Основними **параметрами**, що визначають інтенсивність **ударної хвилі**, є:

- надлишковий тиск у фронті;
- тривалість фази стиснення.

Ці параметри залежать від маси ВР певного типу, що взяла участь у вибуху (тобто енергії вибуху), умов вибуху і відстані від епіцентру.

Масштаби наслідків вибухів залежать від їхньої потужності детонаційної і середовища, в якому вони відбуваються. Радіуси зон ураження можуть доходити до декількох кілометрів.

При оперативному прогнозуванні можна виділити чотири зони руйнувань, що характеризуються ступенями руйнувань (табл. 1):

- повних руйнувань ($\Delta P_{\phi} > 50$ кПа);
- сильних руйнувань ($30 < \Delta P_{\phi} < 50$ кПа);

- середніх руйнувань ($20 < \Delta P_{\Phi} < 30$ кПа);
- слабких руйнувань ($10 < \Delta P_{\Phi} < 20$ кПа).

Табл. 1 – Характеристика ступенів руйнування будинків

Ступені руйнування	Характеристика руйнування
Слабкі	Часткове руйнування внутрішніх перегородок, покрівлі, дверних і віконних коробок, легких будівель та ін. Основні несучі конструкції зберігаються. Для повного відновлення потрібен капітальний ремонт
Середні	Руйнування меншої частини несучих конструкцій. Більша частина несучих конструкцій зберігається й лише частково деформується. Може зберігатися частина огорожуючих конструкцій, стін, однак при цьому другорядні й несучі конструкції можуть бути частково зруйновані. Будинок виводиться з ладу, але може бути відновлений.
Сильні	Руйнування більшої частини несучих конструкцій. При цьому можуть зберігатися найбільш міцні елементи будинку, каркаси, ядра твердості, частково стіни й перекриття нижніх поверхів. При сильному руйнуванні утвориться завал. Відновлення можливо з використанням уцілілих частин і конструктивних елементів. У більшості випадків відновлення недоцільне.
Повні	Повне обвалення будинку, від якого можуть зберегтися тільки ушкоджені (або неушкоджені) підвали й незначна частина міцних елементів. При повному руйнуванні утвориться завал. Будинок відновленню не підлягає.

У табл. 2 наведено граничні значення надлишкового тиску вибуху, що спричиняють різні ступені руйнування окремих конструктивних елементів будівель та споруд.

Табл. 2 – Граничні значення надлишкового тиску вибуху, що спричиняють різні ступені руйнування окремих конструктивних елементів будівель та споруд

Надлишковий тиск, кПа	Руйнування елементів будівель та споруд
0,5–3,0	Часткове руйнування скла
3,0–7,0	Повне руйнування скла
12,0	Перегородки, віконні та дверні рами
15,0	Перекриття
30,0	Цегляні та блочні стіни
70,0	Металеві колони
90,0	Залізобетонні колони

У табл. 3 наведено усереднені інтервали значень надлишкового тиску

вибуху, що можуть викликати певну ступінь руйнування у залежності від типу будівель.

Табл. 3 – Ступені руйнування будівель залежно від надлишкового тиску вибуху газоповітряних сумішей і аерозависів

Типи будівель	Ступені руйнування та інтервали надлишкового тиску, кПа			
	слабкі	середні	сильні	повні
Цегляні та кам'яні:				
малоповерхові	8–20	20–35	35–50	50–70
багатоповерхові	8–15	15–30	30–45	45–60
Залізобетонні панельні:				
малоповерхові	10–30	30–45	45–70	70–90
багатоповерхові	8–25	25–40	40–60	60–80
Залізобетонні монолітні:				
багатоповерхові	25–50	50–115	115–180	180–250
підвищеної поверховості	25–45	45–105	105–170	170–215
Залізобетонні панельні із залізобетонним та металевим каркасами та крановим обладнанням вантажопідємністю, в тонах:				
до 50	5–30	30–45	45–75	75–120
від 50 до 100	15–45	45–60	60–90	90–135
Будівлі із стінами типу «Сендвіч» та крановим обладнанням вантажопідємністю до 20 тон	10–30	30–50	50–65	65–105
Складські приміщення з металевим каркасом та стінами з листового матеріалу	5–10	10–20	20–35	35–45

Вплив ударної хвилі на людину, будівлі і споруди

Повітряна ударна хвиля та продукти вибуху, що утворилися внаслідок вибуху, здатні завдавати людині різні травми, у тому числі смертельні. При безпосередній дії ударної хвилі основною причиною травм у людей є миттєве підвищення тиску повітря, що сприймається людиною як різкий удар. При цьому можливі пошкодження внутрішніх органів, розрив кровоносних судин, барабанних перетинок, струс мозку, різні переломи і т.п. Крім того, швидкісний напір повітря може відкинути людини на значне відстань і заповдіяти йому при ударі об землю (або перешкоду) ушкодження.

Характер і тяжкість ураження людей залежать від величини параметрів ударної хвилі, положення людини в момент вибуху, ступеня

його захищеності. За інших рівних умовах найбільш важкі ураження отримують люди, що знаходяться в момент приходу ударної хвилі поза укриттів в положенні стоячи. У цьому випадку площа впливу швидкісного напору повітря буде приблизно в 6 разів більше, ніж в положенні людини лежачи.

Непрямий вплив ударної хвилі полягає в ураженні людини уламками будівель і споруд, камінням, битим склом та іншими предметами, що летять підхоплені потоком стисненого повітря. При слабких руйнування будівель загибель людей малоімовірна, однак частина з них може отримати різні травми.

Для визначення втрат (загиблих та травмованих) під час вибуху при розрахунку ризиків необхідно враховувати дію небезпечних чинників вибуху на організм людини, зокрема вплив ударної хвилі, що характеризується надлишковим тиском у її фронті. Ступінь ураження людини у залежності від величини надлишкового тиску наведено у табл. 4.

Табл. 4 – Ступінь ураження людини у фронті ударної хвилі

Надлишковий тиск, кПа	Ступінь ураження
< 10	Умовно безпечно
10–40	Легкі ураження (забої та вивихи, легка контузія, тимчасова втрата слуху)
40–60	Середні ураження (травми мозку з втратою свідомості, пошкодження органів слуху, кровотечі, переломи кінцівок)
60–100	Важкі ураження (травми мозку з тривалою втратою свідомості, пошкодження внутрішніх органів, тяжкі переломи та травматичні ампутації кінцівок)
100	Поріг смертельного ураження
250–300	Летальні випадки більше 50 %
> 300	Безумовне смертельне ураження

Отже, вибух є складним фізико-хімічним процесом, одним із уражальних чинників якого є повітряна ударна хвиля, що характеризується надлишковим тиском у її фронті. Масштаби наслідків – від легких травм і пошкоджень скла до повного руйнування будівель та загибелі людей – безпосередньо залежать від величини цього тиску, типу споруд та ступеня захищеності людини.

2. Розрахунок небезпечних чинників вибуху.

Основним небезпечним чинником, що буде впливати на кількість постраждалих та ступінь руйнування під час вибуху парогазоповітряних сумішей на промислових об'єктах є надлишковий тиск вибуху ΔP , кПа.

Надлишковий тиск вибуху під час згоряння сумішей горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР з повітрям у навколишньому просторі може бути визначений за методом, що наведено у ДСТУ Б.В.1.1-36:2016.

Масу горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР, кг, що потрапили до навколишнього простору з технологічного апарата, визначають виходячи з розглянутого варіанту розрахункової аварії, та наступних припущень.

Під час розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішніх установок як розрахунковий потрібно вибирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, за якого у вибуху і/або горінні бере участь найбільша кількість речовин і/або матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків такого вибуху і/або горіння, що містяться в одному апараті (установці).

Кількість речовин, що потрапили до навколишнього простору і можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, визначають за таких умов:

а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів (як правило, такого, у якому знаходиться найбільша кількість речовин або ці речовини більш небезпечні);

б) весь вміст апарата потрапляє до навколишнього простору;

в) відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим і зворотним потоками, протягом проміжку часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів визначають у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і має бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів потрібно приймати таким, що дорівнює:

- часу спрацювання (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів згідно з паспортними даними установки (елементів відключення системи автоматики), якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує 10^{-6} на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с);

- 120 с, якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує 10^{-6} на рік і не забезпечується резервування її елементів;
- 300 с у разі ручного відключення (перекривання).

Не використовують технічні засоби для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.

Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) у разі порушення електропостачання або спрацювання систем пожежної сигналізації та автоматичних систем пожежогасіння.

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площу випаровування у разі розливу на горизонтальну поверхню визначають (за відсутності довідникових або експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л розчинів, що містять 70 % і менше (за масою) розчинників, розливається на площі $0,1 \text{ м}^2$, а інших рідин – на $0,15 \text{ м}^2$;

д) відбувається також випаровування рідин з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесено горючу рідину, що на час аварії знаходиться у стадії висихання;

е) тривалість випаровування рідини приймають такою, що дорівнює часу її повного випаровування, але не більше ніж 3600 с.

Масу горючих парів або газів, що беруть участь у вибуху, визначають з урахуванням пунктів 10.1.1.3 – 10.1.1.8 ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 та залежить від:

- фізико-хімічних властивостей речовин;
- кількості речовини;
- площі розливу;
- температур речовини та поверхні, на яку відбувається витікання.

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

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8m_{\text{пр}}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{\text{пр}}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{\text{пр}}}{r^3} \right), \quad (1)$$

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

r – відстань від геометричного центра зовнішньої установки до межі

розрахункової зони, м;

$m_{\text{пр}}$ – приведена маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, кг.

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

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{Q_{\text{зг}}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z. \quad (2)$$

де $Q_{\text{зг}}$ – питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, Дж/кг;

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

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

m – маса ГГ ($m_{\text{г}}$) і/або парів ЛЗР та ГР ($m_{\text{п}}$), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

Вираз (1) справедливий за умови, що вибух відбувається на відкритій місцевості. Якщо вибух відбувається усередині приміщення, то для визначення надлишкового тиску вибуху користуються виразами:

для індивідуальних горючих речовин, які складаються з молекул, до складу яких входять атоми С, Н, О, N, Cl, I, Br, F:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{гп}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (3)$$

для будь-яких індивідуальних речовин, крім тих, що розраховуються за формулою (3), та сумішей:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_{\text{г}} \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{гп}} \cdot c_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (4)$$

де P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші в замкнутому об'ємі, кПа;

P_0 – початковий тиск, кПа приймається рівним 101 кПа;

$H_{\text{г}}$ – теплота згоряння, Дж/кг;

m – маса газу чи парів ЛЗР, що вийшли в результаті розрахункової аварії до приміщення, кг;

Z – коефіцієнт участі газу чи парів ЛЗР у вибуху;

$V_{\text{вільн}}$ – вільний об'єм приміщення, м³;

$\rho_{\text{гп}}$ – щільність газу чи парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кг/м³.

c_p – теплоємність повітря, Дж/(кг·К). Дозволяється приймати такою, що

дорівнює $1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

T_0 – початкова температура повітря, К;

K_H – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення і неадіабатичність процесу горіння, який приймаємо рівним 3.

Масу m , кг, газів або парів ЛЗР та ГР розраховують з урахуванням вимог п. 7.2.3 – 7.2.9 ДСТУ Б.В.1.1-36:2016.

Як і у випадку з методам розрахунку інтенсивності теплового випромінювання від вогнища пожежі, наведені методи розрахунку надлишкового тиску вибуху не є вичерпними.

3. Вибухи вибухонебезпечних предметів.

Збройна агресія російської федерації спричинила переоцінку у підходах до ідентифікації небезпек, пов'язаних із вибухами. У наш час ігнорувати ймовірність завдання шкоди будь-яким об'єктам від можливого застосування боєприпасів чи інших вибухонебезпечних предметів не слід. Тому постає актуальне питання щодо оцінки наслідків вибуху при підриві ВНП.

При цьому необхідно враховувати:

- розліт осколків (уламків);
- дію повітряної ударної хвилі;
- дію сейсмічної ударної хвилі.

Радіус розльоту осколків при підриві ВНП на поверхні землі може бути визначений за формулою:

$$R_0 = 238 \cdot \sqrt[3]{q}, \quad (5)$$

де R_0 – дальність розльоту осколків при підриві ВНП на поверхні землі, м;

q – загальна маса заряду ВР (тротиловий еквівалент), що підривається, кг, яка дорівнює:

$$q = m \cdot K_{\text{еф}}, \quad (6)$$

де m – маса заряду вибухової речовини ВНП, кг;

$K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності вибухової речовини ВНП в порівнянні із зарядом тротилу тієї ж маси (значення наведені в табл. 5).

Табл. 5 – Значення коефіцієнта ефективності K_{ef} вибухової речовини

Найменування ВР	Трионал 80/20	Суміш «В»	Трионал 90/10 (циклогол)	Торпекс Н6	Ендагол	Пікратол	Пластид – 4	Амоніт 80/20	Пікринова кислота	Тротил	Тетрил	Гексоген	ТЕН
K_{ef}	1,53	1,31	1,23	1,25	1,05	1	0,9	0,94	0,97	1,0	1,08	1,28	1,35

У межах зони, обмеженої радіусом розльоту осколків існує ймовірність ураження людей, будівель та технологічного обладнання уламками з високою кінетичною енергією.

Для оцінки дії повітряної ударної хвилі заряду вибухової речовини використовують емпіричні формули Садовського.

Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі, що утворилася під час вибуху заряду у повітрі $\Delta P_{f(\text{пов})}$ (кПа), визначають за формулою:

$$\Delta P_{f(\text{пов})} = 8,4 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 27 \frac{\sqrt[3]{q^2}}{R^2} + 70 \frac{q}{R^3}, \quad (7)$$

де R – відстань від епіцентру вибуху, м;

q – тротиловий еквівалент заряду ВР, кг.

Під час вибуху у повітрі заряду ВР за нормальних атмосферних умов залежність тривалості фази стиснення у фронті ударної хвилі $\tau_{+(\text{пов})}$ (с) має вигляд:

$$\tau_{+(\text{пов})} = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{q} \cdot \sqrt{R}, \quad (8)$$

Для узагальнених розрахунків з оцінки руйнуючої дії вибуху часто використовується такий показник як *питомий імпульс тиску* I (Па·с), у фазі стиснення.

Для вибуху у повітрі заряду ВР питомих імпульс тиску у фазі стиснення $I_{\text{пов}}$ (Па·с) може бути обчислений за формулою:

$$I_{\text{пов}} = (126 \div 150) \frac{q^{0,66}}{R}, \quad (9)$$

Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі, що утворилася під час вибуху заряду на поверхні землі $\Delta P_{f(3)}$ (кПа), визначають за формулою:

$$\Delta P_{f(3)} = 8,4 \frac{\sqrt[3]{2q}}{R} + 27 \frac{\sqrt[3]{(2q)^2}}{R^2} + 70 \frac{2q}{R^3}, \quad (10)$$

Під час вибуху на поверхні землі заряду ВР за нормальних атмосферних умов залежність тривалості фази стиснення у фронті ударної хвилі $\tau_{+(3)}$ (с) має вигляд:

$$\tau_{+(3)} = 1,46 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{q} \cdot \sqrt{R}, \quad (11)$$

Для вибуху на поверхні землі заряду ВР питомий імпульс тиску у фазі стиснення обчислюється за формулою:

$$I_3 = (200 \div 250) \frac{q^{0,66}}{R}, \quad (12)$$

Значення надлишкового тиску ударної хвилі дозволяє оцінити ступінь руйнування будівель, споруд та технологічного обладнання, а також ураження людей. Наведені формули справедливі для розрахунку

Дія сейсмічної ударної хвилі.

Для оцінки радіусу руйнувань у ґрунті R_{zp} (м) можна скористатися наступною формулою:

$$R_{гр} = k_{гр} \cdot \sqrt[3]{q}, \quad (13)$$

де $k_{гр}$ – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту. Значення коефіцієнту $k_{гр}$ наведено у табл. 6.

Максимальний тиск у фронті сейсмічної ударної хвилі $P_{гр}$ (ат. або $\text{кгс/см}^2 \approx 100$ кПа) для більшості типів ґрунтів може бути представлено у вигляді загальної формули:

$$P_{гр} = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^n, \quad (14)$$

де A , n – коефіцієнти, що визначені експериментально.

Табл. 6 – Значення коефіцієнту $k_{гр}$ для деяких типів середовищ

Середовище	$k_{гр}$
Земля насипом	1,40
Звичайний ґрунт	1,07
Щільний ґрунт	1,04
Кам'янистий ґрунт	0,96
Глина	0,94
Вапняк	0,92
Граніт	0,77
Бетон	0,77
Залізобетон	0,65

Коефіцієнти A , n залежать від щільності ґрунтів ρ_0 , масової вологості W , частки об'єму ґрунту, що зайняті повітрям Δ та наведені у табл. 7.

Табл.7 – Константи, що визначають залежність тиску від відстані у ґрунті

Ґрунт	ρ_0 , г/см ³	Δ	W , %	A	n
<i>Водонасичений</i>					
Вода	1,0	–	–	533	1,13
Пісок природних покладів	1,98	0	–	600	1,05
Пісок природних покладів	1,98	$5 \cdot 10^{-4}$	–	450	1,5
Пісок природних покладів	1,97	0,008–0,012	–	250	2,0
Пісок насипом	1,98	0,015–0,025	–	90	2,6
Пісок насипом	1,89	0,03–0,04	–	45	2,5
Глина природних покладів	20,5	0,01–0,02	–	120	2,5
<i>Неводонасичений</i>					
Пісок природних покладів	1,58	–	8–10	7,5	3,0
Суглинок природних покладів	1,62	–	10–12	8,0	3,0
Пісок насипом	1,50	–	3–6	2,8	3,3
Пісок насипом	1,50	–	5–7	6,0	3,2
Лес природних покладів	1,36	–	12–15	4,5	2,8
Граніт			–	320	2,0

Параметри сейсмічної ударної хвилі наведені у формулах (13) та (14) справедливі для камуфлет них вибухів, тобто таких, коли вибух заряду ВР

у ґрунті відбувається на такій глибині, що видимих деформацій ґрунту на поверхні не спостерігається (без утворення воронки).

Висновок. Розрахунок параметрів небезпечних чинників вибуху (надлишкового тиску ΔP , радіусів розльоту осколків, сейсмічної хвилі) дає змогу точно визначати зони ураження, ступінь руйнування будівель та ймовірні втрати серед людей, що є основою кількісної оцінки ризику. Застосування методик ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 та емпіричних залежностей Садовського дозволяє обґрунтовано планувати превентивні заходи, зони захисту та евакуацію. Без цих розрахунків неможливо виконати повноцінну оцінку вибухопожежної небезпеки об'єктів підвищеної небезпеки та забезпечити безпеку населення в умовах як техногенних аварій, так і воєнних загроз.

Питання для самоконтролю

1. Що таке вибух та які його основні класифікації за характером?
2. Назвіть основні уражальні фактори вибуху.
3. Чим відрізняється об'ємний вибух газоповітряних сумішей від детонації?
4. Які параметри характеризують повітряну ударну хвилю?
5. Запишіть формулу розрахунку надлишкового тиску вибуху ΔP для газопароповітряних сумішей.
6. Як визначається приведена маса горючих газів $m_{пр}$?
7. Що таке коефіцієнт участі Z у формулі приведеної маси?
8. Які припущення приймаються при розрахунку маси речовин, що потрапили в навколишнє середовище?
9. Як розраховується радіус розльоту осколків R_0 при вибуху ВВП?
10. Запишіть формулу надлишкового тиску для вибуху заряду $ВР$ у повітрі (Садовський).
11. Які параметри визначають дію сейсмічної ударної хвилі?
12. Назвіть чотири зони руйнувань за надлишковим тиском.
13. Які ступені ураження людини залежно від ΔP ?
14. Для чого використовуються критичні значення ΔP у процесі оцінки ризику?
15. Як розрахунок параметрів вибуху пов'язаний з кількісною оцінкою ризику $R = P \times Q$?

Рекомендована література

1. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2008–07–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28519.
2. 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.

3. 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.

4. Основи організації піротехнічних робіт: навч. посіб. / за ред. В.П. Садкового. Харків: ВРВД УЦЗУ, 2010. 353 с.

5. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

6. Левчук К.О., Романюк Р.Я., Толлок А.О. Цивільний захист: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 325 с.

7. Коровникова Н.І., Роянов О.М., Григоренко О.М. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 232 с.

8. Кількісний аналіз ризиків. Інструменти для розрахунку наслідків вибуху. Методичні рекомендації. — Київ: Центр учбової літератури, 2024. — 40 с.

9. Грибан В. Г., Фоменко А. Є., Казначеев Д. Г. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. – Дніпро : ДДУВС, 2022. 388 с.

10. Price M. A., Nguyen V.-T., Hassan O., Morgan K. An approach to modeling blast and fragment risks from improvised explosive devices. *Applied Mathematical Modelling*. 2017. Vol. 50. С. 715–731. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.06.015>.

11. Qin H., Stewart M. G. Casualty risks induced by primary fragmentation hazards from high-explosive munitions. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 215. 107874. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107874>.

12. Iacob N. та ін. Explosion Characteristics and Lethality Degree Evaluation from Improvised Explosive Device (IED) Detonation in Urban Area: Case of the Cylindrical Geometry. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. № 22. С. 11851. URL: <https://doi.org/10.3390/app152211851>.

13. Liang R. та ін. Assessment model of blast injury: A narrative review. *IScience*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112830>.

14. Afanasenko K., Lypovyi V., Kalchenko Y., Hryhorenko O. The Possibility of Energy Enterprises Technological Units' Protection from the Fragmentation Effect of Ammunition. In: *The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. 2025. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_31.

Лекція 9. Розрахунок параметрів небезпечних факторів аварії на об'єктах з наявністю небезпечних хімічних речовин

План

1. Хімічно небезпечні об'єкти, їх класифікація та характеристика.
2. Оцінка та прогнозування наслідків аварій.

1. Хімічно небезпечні об'єкти, їх класифікація та характеристика

1.1. Основні поняття та визначення.

Терміни, що використовуються в цій лекції, даються у відповідності з їх визначенням у ДСТУ 4933:2008 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять» та наказу МВС України від 29.11.2019 р. № 1000 «Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті».

Аварія з [викиданням] [проливанням] небезпечних хімічних речовин – аварія на хімічно небезпечному об'єкті, що супроводжується [викиданням] [проливанням] небезпечних хімічних речовин, які можуть призвести до загибелі чи ураження людей і/або хімічного забруднення навколишнього природного середовища.

Небезпечна хімічна речовина (НХР) – хімічна речовина, безпосередня або опосередкована дія якої на людину може спричинити загибель, гостре або хронічне захворювання людей, завдання шкоди навколишньому середовищу.

Хімічно небезпечний об'єкт (ХНО) – об'єкт, на якому використовують, переробляють, зберігають або транспортують НХР, у разі аварії на якому чи під час руйнування якого можуть загинути чи отримати ушкодження люди, а також це може призвести до хімічного забруднення навколишнього середовища.

Хімічне забруднення – розповсюдження небезпечних хімічних речовин у навколишньому середовищі в концентраціях чи кількостях, що протягом певного часу створюють загрозу життю та здоров'ю людей і/або негативно впливають на навколишнє природне середовище.

[Викидання] [проливання] небезпечної хімічної речовини – [викидання] [проливання] в разі розгерметизації технологічних установок, місткостей для зберігання чи транспортування небезпечної хімічної

речовини (продукту) за певний проміжок часу і кількістю, що може спричинити техногенну надзвичайну ситуацію.

Хмара НХР – це суміш парів і дрібних крапель НХР з повітрям в обсягах (концентраціях), небезпечних для довкілля (уражальних концентраціях). Розрізняють первинну і вторинну хмару забрудненого повітря.

Первинна хмара небезпечних хімічних речовин – хмара НХР, яка утворюється внаслідок миттєвого (1-2 хв.) переходу в атмосферу всього об'єму ємності з НХР або її частини.

Вторинна хмара небезпечних хімічних речовин – хмара НХР, яка утворюється внаслідок випаровування розливої НХР з поверхні.

Хімічно небезпечна адміністративно-територіальна одиниця адміністративно-територіальна одиниця (АТО), до якої зараховуються область, район, а також будь-які населені пункти, що потрапляють у зону можливого хімічного забруднення в разі виникнення аварії на хімічно небезпечному об'єкті.

Зона можливого хімічного забруднення (ЗМХЗ) – територія або акваторія, у межах якої в разі зміни напрямку вітру можливе переміщення хмари НХР з концентрацією, небезпечною для життя людини;

Зона хімічного забруднення (ЗХЗ) – територія або акваторія, у межі якої потрапили НХР у концентраціях або кількостях, що протягом певного часу створюють небезпеку для життя та здоров'я людей і завдають шкоди навколишньому природному середовищу. ЗХЗ є сукупністю забруднених площ району аварії та площ, утворених первинною та/або вторинною хмарою НХР;

Прогнозована зона хімічного забруднення (ПЗХЗ) – розрахункова зона в межах зони можливого хімічного забруднення.

Гранично допустима концентрація небезпечної хімічної речовини (ГДК) – максимальна кількість НХР у повітрі, що вимірюється в одиниці об'єму або маси, яка в разі постійного контакту з людиною або впливу на неї за визначений проміжок часу практично не впливає на здоров'я людини та не викликає несприятливих наслідків;

Порогова токсодоза PC_{t50} – найменша інгаляційна токсодоза НХР, що викликає в людини, яка не забезпечена засобами захисту органів дихання, початкові симптоми ураження;

1.2. Класифікація небезпечних хімічних речовин.

У наш час у промисловості, сільському господарстві, інших сферах економіки використовується велика кількість різних хімічних токсичних речовин.

Крім цього небезпечного потенціалу багато підприємств, транспорт і інші техногенні джерела постійно забруднюють природне середовище в процесі свого функціонування.

Вплив усього цього комплексу небезпечних хімічних речовин (НХР) являє певну загрозу для життя й здоров'я населення.

За критерієм характеру впливу на населення НХР можна умовно розбити на три групи:

- аварійно хімічні небезпечні речовини (АХНР), використовувані в економіці, здатні викликати масові поразки населення при аваріях на об'єктах;
- постійно діючі хімічні небезпечні речовини (ПДХНР), що систематично чинять шкідливий вплив на організм людини
- бойові хімічні небезпечні речовини (БХНР), здатні викликати поразки населення при їхньому бойовому застосуванні можливим супротивником або при аваріях на об'єктах їхнього тимчасового зберігання і на підприємствах по знищенню.

Класифікація аварійно хімічно небезпечних речовин може бути проведена за наступними ознаками:

за основними фізико-хімічними властивостями та умовами зберігання:

- рідкі та летючі, що зберігаються під тиском (стиснені та скраплені гази) хлор, аміак, сірководень, фосген та інш.;
- рідкі та летючі, що зберігаються в ємностях без тиску – синильна кислота, нетріл, антилова кислота, хлорпікрин тощо;
- кислоти, що димлять – сірчана, азотна, соляна тощо;
- сипучі та тверді нелеткі при температурі зберігання до 40 °С – сулема, фосфор, жовтий, миш'яковистий ангідрид;
- сипучі та тверді летючі речовини, при температурі зберігання до 40 °С – солі синильної кислоти, меркурани тощо.

за класом безпеки (ступінь впливу на організм людини):

- надзвичайно небезпечні,
- високо небезпечні;
- помірно небезпечні;

- мало небезпечні.

за горючістю:

- негорючі речовини – фосген, діоксан;
- негорючі, пожежонебезпечні речовини – хлор, азотна кислота, угарний газ, фтористий водень, хлорпікрин,
- важкогорючі речовини – скраплений аміак, ціаністий водень;
- горючі речовини – газоподібний аміак, гептил, сірковуглець, гідразин, оксиди азоту, дихлоретан тощо.

Відповідно до **токсикологічної класифікації** всі НХР поділяють на шість груп:

1. *Речовини з переважно задушливою дією* (хлор, трихлористий фосфор, фосген, хлориди сірки тощо) впливають на організм людини через вдихання парів, через деякий час ці речовини викликають токсичний набряк легенів.

2. *Речовини переважно загально-токсичної дії* (кислота синильна, вуглецю діоксид тощо) – викликають гострі порушення енергетичного обміну в організмі та поділяються на отрути крові, гемолітичні отрути, тканинні отрути (інгібітори ферментів дихальної системи, відокремлювач процесів окислення), а також речовини, які виснажують запаси субстратів для процесів біологічного окислення. Уразі потрапляння до організму людини смертельних доз з'являються клонікотонічні судоми, різкий ціаноз, гостра серцево-судинна недостатність, зупинка дихання.

3. *Речовини, яким властива задушлива і загально отруйна дія* (сірководень, сульфатний ангідрид, азоту оксид тощо) мають здатність до сильної опікової дії, що значно ускладнює надання допомоги потерпілим. У разі високих концентрацій спостерігаються судоми, знепритомніння, глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів.

4. *Нейротропні отрути, що діють на виникнення, проведення і передавання нервових імпульсів* (ФОС, сірковуглець) діють на нервову систему людини. Уразі високих концентрацій - це глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів. Падіння артеріального тиску, порушення серцевого ритму.

5. *Речовини із задушливою і нейротропною дією* (аміак, гептил, гідразин тощо) – викликають гіпертонію, кон'юнктивіт носоглотки, кашель, блювання. При високих концентраціях – набряк губ і кон'юнктиви, кашель з мокротинням, ціаноз, тахікардія.

6. *Метаболічні отрути (отрути)* (діоксан, метилбромід, метилхлорид, спирт метиловий) втручаються в процес метаболізму

речовин в організмі. Отруєння ними характеризується відсутністю певної реакції організму на отруту, але поступово у процес ураження втягується багато органів.

1.3. Загальні положення Методики прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті

Методику призначено для використання органами управління та силами цивільного захисту єдиної державної системи цивільного захисту, які організують, здійснюють та забезпечують заходи із запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідації аварій, пов'язаних з виливом (викидом) НХР, та їх наслідків.

Методика дає змогу здійснити довгострокову (оперативну) та аварійну оцінку обстановки в разі виникнення аварій, пов'язаних з виливом (викидом) НХР із технологічних ємностей на ХНО, автомобільному, річковому, залізничному (під час перебування в нерухомому стані) та трубопровідному транспорті.

Методика поширюється на НХР, які в разі виникнення аварії переходять у навколишнє середовище в газоподібному, пароподібному та аерозольному агрегатних станах із утворенням первинної та/або вторинної хмари, та не поширюється на НХР, які не переходять у газоподібний, пароподібний або аерозольний стани.

Для визначення ризиків від НС, пов'язаних з виливом (вилівом) НХР, застосовують методику довгострокового (оперативного) прогнозування.

2. Оцінка та прогнозування наслідків аварій

Згідно наказу МВС України від 29.11.2019 р. № 1000 «Про затвердження Методики прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті» (тут і далі – Методики) оцінка хімічної обстановки передбачає визначення:

- масштабів хімічного забруднення;
- ступеня небезпеки хімічного забруднення;
- тривалості хімічного забруднення.

Основними показниками, що визначають масштаб хімічного

забруднення, є:

- радіус R_A , (км) та площа S_A (км²) району аварії;
- глибина Γ_1 (км) та площа S_1 (км²) поширення первинної хмари НХР;
- глибина Γ_2 (км) та площа S_2 (км²) поширення вторинної хмари НХР.

Радіус району аварії R_A (радіус кола, що визначає зовнішні кордони району аварії) залежить від виду НХР й умов її зберігання (використання). Під час проведення розрахунків значення R_A приймається:

- для зріджених газів та рідких НХР з низькою температурою кипіння, що зберігаються в технологічних ємностях об'ємом до 100 т, – 0,5 км, в інших випадках – 1 км;
- для рідких НХР з високою температурою кипіння в разі руйнування технологічних ємностей об'ємом до 100 т – 0,2–0,3 км, в інших випадках – 0,5 км.

У разі виникнення пожежі радіус району аварії необхідно збільшувати в 1,5–2 рази, що обумовлено можливістю викиду більшої кількості НХР, а також розкидання НХР внаслідок вибуху.

Глибина поширення первинної хмари НХР Γ_1 з урахуванням метеорологічних та топографічних умов, впливу температури повітря на кількість НХР, що переходить у первинну хмару, визначається за формулою:

$$\Gamma_1 = \Gamma_{T1} \times K_{t1} \times K_k \times K_m, \quad (1)$$

де Γ_{T1} – табличне значення глибини поширення первинної хмари (км);

K_{t1} – поправний коефіцієнт, що враховує вплив температури повітря на глибину поширення первинної хмари НХР (додаток 2 Методики);

K_k – коефіцієнт пропорційності, що враховує розбіжності заданої маси НХР з типовими масами НХР, наведені в додатку 1 Методики. Для його визначення розраховується співвідношення заданої маси НХР Q_3 (т) до найближчого значення типової маси НХР Q_T (т). Значення коефіцієнта пропорційності K_k залежить від величини співвідношення Q_3/Q_T та ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі. Ступені вертикальної стійкості повітря в приземному шарі наведено в додатку 3 Методики. Значення коефіцієнта пропорційності K_k залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі наведені в додатку 4 Методики;

K_M – коефіцієнт впливу місцевості. Значення коефіцієнта K_M визначається із урахуванням комплексного показника K_p . Значення коефіцієнта впливу місцевості K_M наведені в додатку 5 Методики. Значення комплексного показника K_p наведені в додатку 6 Методики.

Для НХР, дані про які відсутні в додатку 1 до Методики, глибина поширення первинної хмари НХР на рівнинній місцевості Γ_{1p} (км) визначається за формулою:

$$\Gamma_{1p} = b_1 \times \left(\frac{Q_1}{u_1 \times PC_{t50}} \right)^a, \quad (2)$$

де Q_1 – кількість НХР, що переходить у первинну хмару (т);

u_1 – швидкість вітру на висоті 1-10 м (м/с);

PC_{t50} – значення порогової токсодози ($\text{г} \times \text{с} / \text{м}^2$). Фізико-хімічні властивості деяких НХР зазначені в додатку 7 Методики або визначаються за формулою (10.5);

a та b_1 – коефіцієнти, що залежать від вертикальної стійкості повітря в приземному шарі:

$$a = 0,57 \times \exp(0,86 \times \varepsilon), \quad (3)$$

$$b_1 = 15,4 \times \exp(6,96 \times \varepsilon), \quad (4)$$

де ε – параметр вертикальної стійкості повітря в приземному шарі, що дорівнює:

- для ізотермії: 0;
- для конвекції: $-0,1 \dots -0,2$;
- для інверсії: $0,1 \dots 0,2$;

Чисельні значення порогової токсодози PC_{t50} визначаються за формулою:

$$PC_{t50} = 14,4 \times \text{ГДК} \times K, \quad (5)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація речовини в повітрі ($\text{мг} / \text{м}^3$). Довідкова інформація про деякі НХР наведена в додатку 8 Методики, за потреби для визначення ГДК окремих НХР можна використовувати науково-технічну та довідкову літературу, відповідні національні та міжнародні стандарти тощо;

K – поправний коефіцієнт:

- для НХР дратівливої дії дорівнює 5;
- для НХР отруйної дії – 9.

Залежно від агрегатного стану НХР визначається можливість утворення первинної/ вторинної хмари.

У разі утворення лише первинної хмари кількість НХР, що перейшла в первинну хмару Q_1 (кг), дорівнює загальній кількості НХР Q (кг).

Якщо можливе утворення вторинної хмари, кількість НХР, що перейшла в первинну хмару Q_1 (кг), визначається за формулою:

$$Q_1 = \frac{Q \times C_v \times (t_a - t_k)}{\lambda}, \quad (6)$$

де Q – загальна кількість НХР у ємності (кг);

C_v – питома теплоємність рідини (кДж/кг \times $^{\circ}$ С);

t_a – температура НХР у рідкому стані до руйнування ємності ($^{\circ}$ С);

t_k – температура кипіння НХР ($^{\circ}$ С);

λ – питома теплота випаровування (кДж/кг).

Глибина поширення первинної хмари НХР Γ_1 (км) з урахуванням типу місцевості визначається за формулою:

$$\Gamma_1 = \Gamma_{1p} \times K_m. \quad (7)$$

Значення глибини поширення вторинної хмари для деяких НХР Γ_{T2} (км), наведені в додатку 9 до Методики (значення не охоплюють радіус району аварії R_A), зазначено для типових ємностей у яких зберігається НХР, за умови їх повної розгерметизації, значення порогової токсодози PC_{t50} та розповсюдження хмари на відкритій рівнинній місцевості.

Глибина поширення розрахована для середніх умов, у разі глибокої інверсії глибина поширення збільшується в 1,5-2 рази.

З урахуванням метеорологічних та топографічних умов, впливу температури повітря на кількість НХР, що переходить у вторинну хмару, глибина поширення вторинної хмари НХР Γ_2 (км) визначається за формулою:

$$\Gamma_2 = \Gamma_{T2} \times K_{t2} \times K_k \times K_m. \quad (8)$$

де Γ_{T2} – табличне значення глибини поширення вторинної хмари;

K_{t2} – поправний коефіцієнт, що враховує вплив температури повітря. Значення поправного коефіцієнта K_{t2} , що враховує вплив температури повітря на глибину поширення вторинної хмари НХР, наведені в додатку 10 Методики;

K_k – коефіцієнт пропорційності, що враховує розбіжності заданої маси НХР з типовими масами НХР, зазначені в додатку 9 Методики.

Визначення коефіцієнта K_k здійснюється так, як і у разі поширення первинної хмари НХР;

K_m – коефіцієнт впливу місцевості. Визначення коефіцієнта K_m здійснюється так, як і у разі поширення первинної хмари НХР.

Кількість НХР, що перейшла у вторинну хмару Q_2 (кг), визначається за формулою

$$Q_2 = Q - Q_1. \quad (9)$$

Час випаровування НХР τ (год.) з площі поверхні виливу визначається за формулою:

$$\tau = \frac{Q_2}{3600 \times E \times S_{\text{пр}}}, \quad (10)$$

де E – питома швидкість випаровування ($\text{кг}/\text{м}^2 \times \text{с}$), та визначається за формулою ;

$S_{\text{пр}}$ – площа поверхні виливу НХР (м^2).

Площа поверхні виливу $S_{\text{пр}}$ визначається за формулою:

$$S_{\text{пр}} = \frac{\pi \times d_{\text{пр}}^2}{4}, \quad (11)$$

де $d_{\text{пр}}$ – приведений діаметр площі поверхні виливу НХР (м).

Приведений діаметр площі поверхні виливу НХР $d_{\text{пр}}$ (м) визначається за формулами:

за наявності піддона (обвалування):

$$d_{\text{пр}} = 1,22 \times \sqrt{\frac{Q - Q_1}{\rho}}, \quad (12)$$

за відсутності піддона (обвалування):

$$d_{\text{пр}} = 5,04 \times \sqrt{\frac{Q-Q_1}{\rho}}, \quad (13)$$

де 1,22 та 5,04 – розмірні коефіцієнти ($\text{м}^{-0,5}$);

Q – кількість НХР у ємності (кг);

Q_1 – кількість НХР, що перейшла в первинну хмару (кг);

ρ – густина НХР ($\text{кг}/\text{м}^3$).

У формулі (12) висота піддона (обвалування) дорівнює 1 м у разі його заповнення на 85 %.

Для ємностей об'ємом більше 2000 т висота піддона (обвалування) може бути більшою. У цьому разі приведений діаметр площі поверхні виливу НХР для ємностей об'ємом більше 2000 т за наявності піддона (обвалування) визначається за формулою:

$$d_{\text{пр}} = \frac{1,22}{\sqrt{H}} \times \sqrt{\frac{Q-Q_1}{\rho}}, \quad (14)$$

де H – висота піддона (обвалування) (м).

Питома швидкість випаровування E ($\text{кг}/\text{м}^2 \times \text{с}$) визначається за формулою:

$$E = 0,041 \times \frac{u_1 \times M}{d_{\text{пр}}^{0,14} \times} \exp \left[\frac{\lambda \times M}{R} \times \left(\frac{1}{T_{\text{к}}} - \frac{1}{T_{\text{в}}} \right) \right], \quad (15)$$

де u_1 – швидкість повітря на висоті 1–10 м ($\text{м}/\text{с}$);

M – молекулярна маса НХР ($\text{г}/\text{моль}$);

$d_{\text{пр}}$ – приведений діаметр площі поверхні виливу НХР (м);

$T_{\text{к}}$ – температура кипіння НХР (К);

$T_{\text{в}}$ – температура випаровування НХР (К);

λ – питома теплота випаровування ($\text{кДж}/\text{кг}$);

R – універсальна газова стала, що дорівнює $8,31 \text{ кДж}/\text{кмоль} \times \text{К}$.

Вплив місцевості на значення глибини поширення вторинної хмари НХР вираховується шляхом множення величини Γ_2 на коефіцієнт впливу місцевості $K_{\text{м}}$, що визначається так, як і у разі поширення первинної хмари НХР.

Площа первинної (вторинної) хмари НХР $S_{1(2)}$ (км^2) визначається за формулою:

$$S_{1(2)} = \frac{(\Gamma_{1(2)} + R_A)^2 \times \varphi}{60}, \quad (16)$$

де $\Gamma_{1(2)}$ – глибина поширення первинної (вторинної) хмари НХР (км)

R_A – радіус району аварії (км);

φ – половина кута сектора (град), у межах якого можливе поширення хмари НХР із заданою довірчою ймовірністю P_Γ . Значення кута φ (град) залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі та довірчої ймовірності P_Γ наведені в додатку 11 Методики. Зображення кута сектора наведено на схемі поширення первинної та вторинної хмари НХР (рис. 1).

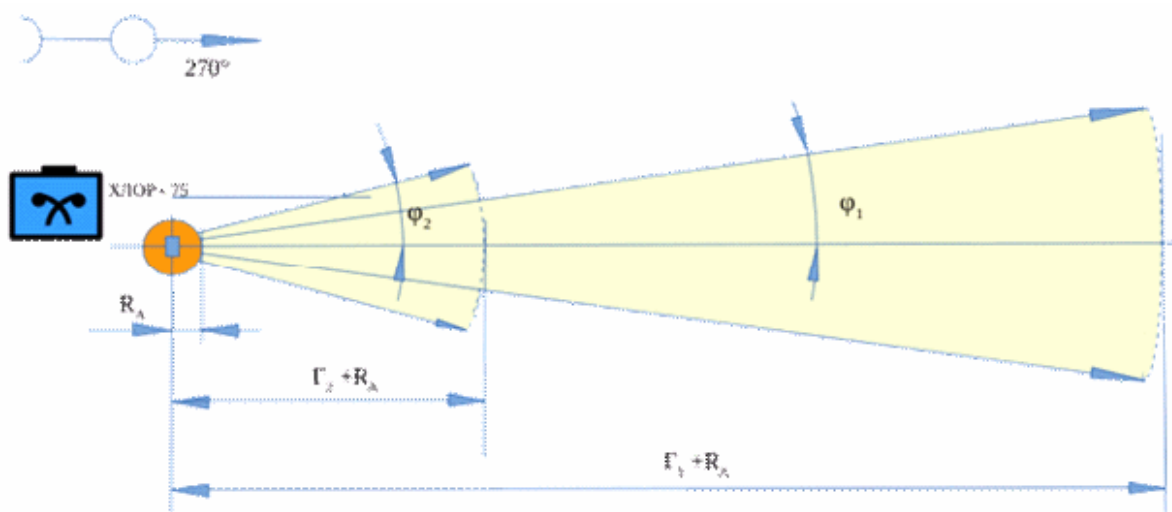


Рисунок 1 – Схема поширення первинної та вторинної хмари НХР

Довірча ймовірність P_Γ визначає характер задач, що вирішуються:

- у разі довгострокового прогнозування $P_\Gamma = 0,9$;
- у разі аварійного прогнозування, тобто за наявності всіх вихідних даних про об'єкт в умовах викиду (випливу) НХР $P_\Gamma = 0,5$;
- у разі наявності не всіх вихідних даних $P_\Gamma = 0,75$.

Площа прогнозованої зони хімічного забруднення $S_{ПЗХЗ}$ (км²) визначається залежно від значень радіусу аварії R_A , глибини поширення $\Gamma_{1(2)}$ первинної (вторинної) хмари та відповідних кутів сектора поширення цих хмар $\varphi_{1(2)}$.

Якщо $\Gamma_1 < \Gamma_2$:

за умов $\varphi_1 < \varphi_2$:

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_2^2 - R_A^2) \times \varphi_2}{180} \right), \quad (17)$$

за умов $\varphi_2 < \varphi_1$:

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \times \varphi_1}{180} + \frac{(\Gamma_1^2 - \Gamma_2^2) \times \varphi_2}{180} \right), \quad (18)$$

Якщо $\Gamma_2 < \Gamma_1$:

за умов $\varphi_1 < \varphi_2$:

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_2^2 - R_A^2) \times \varphi_2}{180} + \frac{(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2) \times \varphi_1}{180} \right), \quad (19)$$

за умов $\varphi_2 < \varphi_1$:

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \times \varphi_1}{180} \right), \quad (20)$$

Основним показником, що характеризує ступінь небезпеки хімічного забруднення, є прогнозована кількість уражених, що опинилися в ЗХЗ.

Кількість уражених серед виробничого персоналу об'єкта, де сталася аварія, та населення, яке мешкає поблизу цього об'єкта, визначається відповідно до кількості та часу знаходження людей у ЗХЗ, їх захищеності від дії НХР.

Кількість людей, які опинилися в ЗХЗ, розраховується або шляхом підсумовування кількості виробничого персоналу (населення), який знаходиться на окремих виробничих ділянках (в житлових кварталах, населених пунктах), що піддалися дії НХР, або шляхом множення середньої густини виробничого персоналу (населення), що знаходиться на території об'єкта (населеного пункту), на площу зараженої території.

Кількість уражених B (осіб) визначається за формулами:

$$B = L \times (1 - K_3), \quad (21)$$

або

$$B = \Delta \times S_{\text{об.}} \times (1 - K_3), \quad (22)$$

де L – кількість виробничого персоналу (населення) в осередку ураження (осіб);

K_3 – коефіцієнт захищеності виробничого персоналу від вражаючої дії НХР. Коефіцієнт захищеності виробничого персоналу K_3 від дії НХР (по хлору) зазначено в додатку 13 Методики. Коефіцієнт захищеності міського та сільського населення K_3 від дії НХР зазначено в додатку 14 Методики;

Δ – середня щільність розміщення виробничого персоналу (населення) на території об'єкта (населеного пункту) (осіб/км²);

$S_{об.}$ – площа території об'єкта (населеного пункту), що зазнала ураження (км²).

Значення коефіцієнта захищеності K_3 залежить від місця перебування виробничого персоналу (населення) у момент підходу хмари забрудненого повітря до об'єкта (населеного пункту) та захисних властивостей укриття і засобів індивідуального захисту, що використовуються.

Коефіцієнт захищеності K_3 виробничого персоналу (населення) визначається за формулою:

$$K_3 = q_1 K_{31} + q_2 K_{32} + q_3 K_{33} + q_4 K_{34} + \dots + q_i K_{3i}, \quad (23)$$

де $q_{(1,2,3,4,\dots,i)}$ – частка виробничого персоналу (населення), що знаходиться в умовах перебування 1, 2, 3, 4, .. i , наприклад:

де 1 – виробничий персонал (населення), що знаходиться на відкритій місцевості;

2 – виробничий персонал (населення), який забезпечено протигазами;

3 – виробничий персонал (населення), що знаходиться в укриттях;

4 – виробничий персонал, що знаходиться у виробничих будівлях тощо.

Під час розрахунку враховуються лише ті показники, що мають місце, а за потреби додаються додаткові.

Для визначення кількості уражених від первинної хмари НХР використовується значення коефіцієнта захищеності на час перебування в осередку ураження 15 та 30 хв., наведені в додатку 14 Методики.

Тривалість хімічного забруднення характеризується тривалістю уражальної дії НХР та залежить від часу її випаровування з площі виливу та визначення часу підходу хмари НХР до об'єкта.

Час випаровування НХР $\tau_{вип}$ (год.) з площі виливу розраховується за формулою:

$$\tau_{\text{вип}} = \tau_{\text{вип.таб.}} \times K_u, \quad (24)$$

де $\tau_{\text{вип.таб.}}$ (год.) – час випаровування НХР за швидкості повітря 1 м/с. Час випаровування НХР за швидкості повітря 1 м/с зазначено в додатку 15 Методики;

K_u – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості вітру на час випаровування НХР. Значення коефіцієнта K_u залежно від швидкості вітру наведені в додатку 16 Методики або визначаються за формулою:

$$K_u = \frac{1}{0,44 \times u + 0,56}, \quad (25)$$

де u – швидкість вітру на висоті 1-10 м (м/с).

Для НХР, дані про які відсутні в додатку 15 Методики, час випаровування НХР з площі виливу $\tau_{\text{вип}}$ (год.) визначається за формулою (10).

Час підходу хмари НХР до об'єкта t (год.), що знаходиться в межах зон розповсюдження первинної Γ_1 та/або вторинної Γ_2 хмар НХР, залежить від швидкості перенесення хмари повітряними потоками та визначається за формулою:

$$t = \frac{X}{v}, \quad (26)$$

де X – відстань до об'єкта, км;

v – швидкість перенесення хмари повітряними потоками (км/год.).

Висновок. Отже, систематизація знань про класифікацію хімічно небезпечних об'єктів та токсикологічні властивості речовин є основою для розуміння природи техногенних аварій із викидом небезпечних хімічних речовин. Розглянута методика прогнозування дозволяє кількісно оцінити масштаби забруднення, розраховуючи глибину поширення первинної та вторинної хмар, а також час випаровування НХР з урахуванням конкретних метеорологічних умов. Ключовим практичним аспектом матеріалу є визначення ступеня ризику для персоналу та населення через розрахунок імовірної кількості уражених залежно від рівня їхньої захищеності. Такий комплексний підхід є критично важливим для оперативного прийняття рішень та ефективного планування заходів цивільного захисту в умовах виникнення хімічної загрози.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть визначення поняття «Аварія з [викиданням] [проливанням] небезпечних хімічних речовин».
2. Наведіть визначення поняття «Небезпечна хімічна речовина».
3. Наведіть визначення поняття «Хімічно небезпечний об'єкт (ХНО)».
4. Наведіть визначення поняття «Хімічне забруднення».
5. Наведіть визначення поняття «[Викидання] [проливання] небезпечної хімічної речовини».
6. Наведіть визначення поняття «Хмара НХР».
7. Наведіть визначення поняття «Первинна хмара небезпечних хімічних речовин».
8. Наведіть визначення поняття «Вторинна хмара небезпечних хімічних речовин».
9. Наведіть визначення поняття «Зона хімічного забруднення».
10. Наведіть визначення поняття «Зона можливого хімічного забруднення (ЗМХЗ)».
11. Наведіть визначення поняття «Прогнозована зона хімічного забруднення (ПЗХЗ)».
12. Наведіть визначення поняття «Порогова токсодоза PC_{150} ».
13. Класифікація НХР за критерієм характеру впливу на населення.
14. Класифікація АНХР за основними фізико-хімічними властивостями та умовами зберігання.
15. Класифікація АНХР за класом безпеки (ступенем впливу на організм людини).
16. Токсикологічна класифікація НХР за механізмом впливу на організм.
17. Яким нормативним документом затверджено Методику прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті.
18. Загальні положення Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті.
19. Загальні підходи до оцінки та прогнозування наслідків аварій з викиданням (проливанням) НХР.

Рекомендована література

1. Методика прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: Наказ внутрішніх справ України від 29 листопада 2019 р. № 1000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text>.
2. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2008–07–01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28519.

3. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека / за ред. В.В. Могильниченка. Київ: КІМ, 2007. 636 с.

4. Коровникова Н.І., Роянов О.М., Григоренко О.М. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 232 с.

5. Грибан В. Г., Фоменко А. Є., Казначеев Д. Г. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. – Дніпро : ДДУВС, 2022. 388 с.

Лекція 10. Побудова дерева несправностей, дерева подій.

План

1. Аналізування дерева несправностей (FTA) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.
2. Аналізування дерева подій (ETA) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.

1. Аналізування дерева несправностей (відмов) (FTA) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.

FTA – метод ідентифікування та аналізування чинників, які можуть сприяти виникненню визначеної небажаної події (яку називають «завершальна подія»). Причинні чинники ідентифікують дедуктивним способом, організовують логічно та подають графічно за допомогою деревоподібної діаграми (рис. 1), зображаючи причинні чинники та їхні логічні зв'язки з завершальною подією.

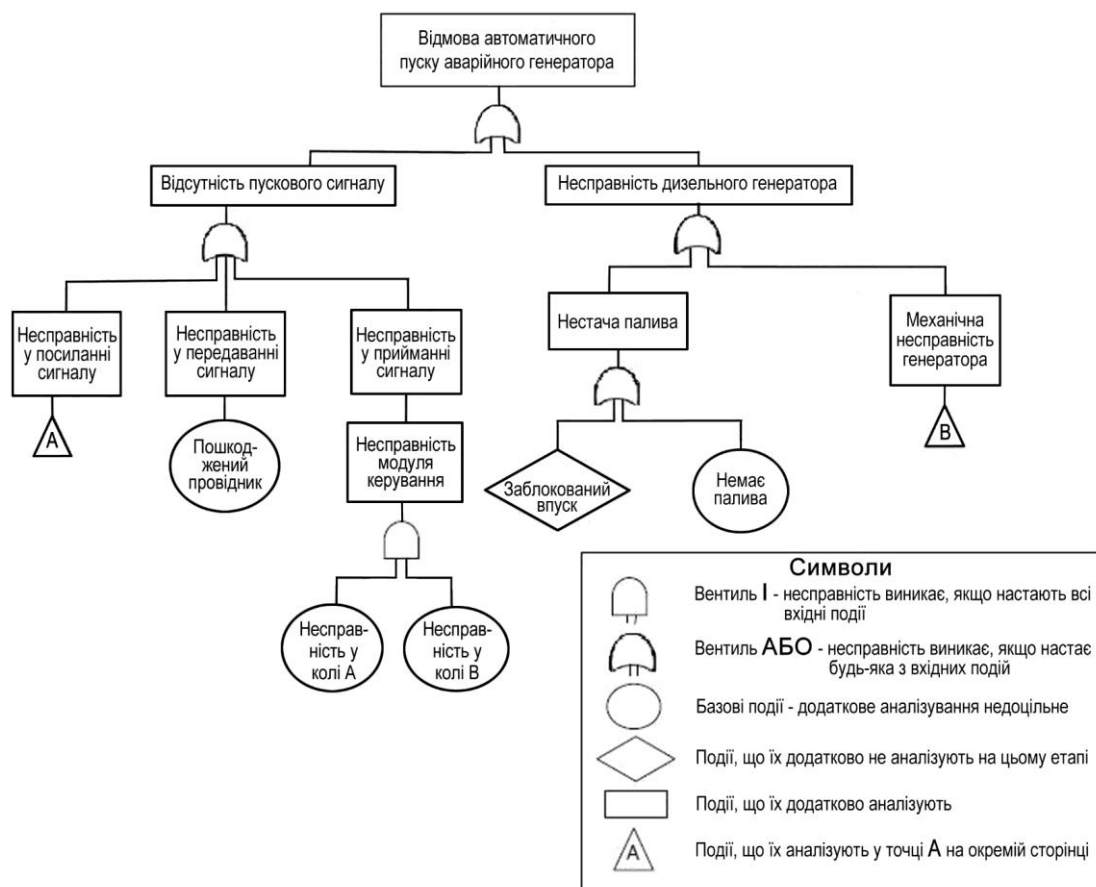


Рисунок 1 – Приклад дерева несправностей

Чинниками, що їх ідентифікують у дереві, можуть бути події, пов'язані з відмовою складників технічного засобу, помилками людини чи будь-якими іншими доречними подіями, які призводять до небажаної події.

Дерево відмов можна використовувати для якісного аналізування, щоб визначити потенційні причини та шляхи виникнення відмови (завершальна подія) або для кількісного аналізування, щоб обчислити ймовірності завершальної події, зважаючи на знання ймовірностей причинних подій.

Цей метод можна використовувати на стадії проектування системи, щоб визначити потенційні причини відмови і, на підставі цього, зробити вибір між варіантами проектування. Його можна використовувати на етапі функціонування, щоб визначити, як можуть виникати найсуттєвіші відмови, і відносно важливість настання різних завершальних подій. Дерево відмов можна також використовувати для аналізування відмови, яка виникла, щоб схематично відобразити, як різні події разом спричинили відмову.

Для якісного аналізування потрібні основні відомості про систему та причини відмови, а також основні технічні відомості про те, як система може вийти з ладу. Щоб сприяти аналізуванню доцільно використовувати докладні діаграми.

Для кількісного аналізування потрібні дані щодо інтенсивності відмов або ймовірності перебування у стані відмови для всіх базових подій дерева відмов.

Етапи розроблення дерев несправностей:

- визначають завершальну подію, яку аналізуватимуть. Це може бути відмова чи більш загальний результат цієї відмови. Якщо аналізують результат, дерево може мати ділянку стосовно пом'якшення наслідків фактичної відмови;
- починаючи з завершальної події, визначають можливі безпосередні причини чи види відмови, що зумовлюють завершальну подію;
- аналізують кожну з цих причин (кожний з цих видів відмови), щоб зрозуміти, як може виникати відмова;
- провадять поетапне визначення небажаного функціонування системи, послідовно сходячи до нижчих рівнів системи доти, доки подальше аналізування не стане недоцільним. У технічних системах це може бути рівень відмови складника. Події та причинні чинники на

найнижчому рівні аналізованої системи називають базовими подіями;

- за можливості надання ймовірностей базовим подіям можна обчислити ймовірність завершальної події. Щоб кількісне аналізування було обґрунтоване, треба, щоб була можливість показати, що для кожного логічного елемента всі вхідні дані необхідні й достатні, щоб спричинити результуючу подію. Інакше дерево відмов не придатне для аналізування ймовірності, але воно може бути корисним інструментом для відображення причинних зв'язків.

У межах кількісного аналізування може бути потрібним спростити дерево відмов, щоб урахувати дублюючі види відмови.

Поряд з отриманням наближеної кількісної оцінки ймовірності головної події можна ідентифікувати мінімальні перерізи, які утворюють індивідуальні відокремлені шляхи до головної події, і обчислити їхній вплив на завершальну подію.

Крім випадків простих дерев відмов, для належного опрацювання обчислень за наявності повторних подій у кількох частинах дерева відмов і для обчислення мінімальних перерізів потрібен пакет програмного забезпечення. Програмні засоби сприяють забезпеченню узгодженості, правильності та можливості для перевіряння.

Вихідні дані аналізування дерев несправностей такі:

- графічне подання того, як може наставати завершальна подія, з показом шляхів взаємодії, якими можуть виникати дві чи більше одночасних подій;

- перелік мінімальних перерізів (окремих шляхів до відмови) з ймовірністю (за наявності даних) настання кожної з них;

- ймовірність завершальної події.

Переваги ФТА:

- це впорядкований, високою мірою систематичний та одночасно достатньо гнучкий підхід, який дає змогу аналізувати різноманітні чинники, зокрема взаємодії між людьми та фізичні явища;

- застосування підходу «зверху вниз», неявного у методі, дає змогу зосередити увагу на тих наслідках відмови, які безпосередньо пов'язано з завершальною подією;

- ФТА є особливо корисним для аналізування систем з багатьма сполученнями та взаємодіями;

- графічне зображення дає змогу легше зрозуміти поведінку системи та її внутрішні чинники, але, оскільки деревоподібні схеми часто набувають великих розмірів, обробляння таких схем може потребувати

застосування комп'ютерних систем. Ця функція уможлиблює використання складніших логічних зв'язків (наприклад, логічних операцій «І-НІ» та «АБО-НІ»), але також утруднює перевіряння дерева відмов;

- логічне аналізування дерев відмов та ідентифікування перерізів корисне для визначення простих шляхів виникнення відмов у дуже складній системі, у якій можна не помітити конкретних комбінацій подій, що зумовлюють завершальну подію.

Обмеженості ФТА:

- до обчислень ймовірності завершальної події долучають невизначеності, пов'язані з ймовірностями базових подій. Це може спричинювати високі рівні невизначеності, якщо ймовірності відмови за базових подій точно не відомі; однак, у добре зрозумілій системі можна досягати високого рівня довіри;

- у деяких випадках причинні події не пов'язані між собою і може бути важко встановити, чи було долучено всі значимі шляхи до завершальної події. Наприклад, залучення всіх джерел займання до аналізування пожежі як завершальної події. У цьому разі аналізування ймовірностей неможливе;

- дерево відмов – статична модель; часові взаємозалежності не розглядають;

- дерева відмов можна застосовувати тільки стосовно двійкових станів (несправність/справність);

- хоча види помилок людини можна охопити деревом відмов з якісними характеристиками, але зазвичай залучання відмов, ступінь або якість яких часто характеризують помилку людини, становить певні труднощі;

- дерево відмов не дає змоги охопити «ефекти доміно» чи умовні відмови.

Для кількісного оцінювання ризику НС необхідно встановити ймовірність виникнення тієї чи іншої надзвичайної ситуації. Виходячи з того, що НС є «завершальною подією» дерева відмов, то ФТА є одним із методів визначення ймовірності НС для конкретних технічних систем.

При розрахунку ймовірності виникнення аварії необхідно враховувати логічні символи, що застосовуються для побудови дерева відмов. Ймовірність $P(A)$ вихідної події A за незалежності вхідних подій A_1, A_2, \dots, A_n визначають за формулами:

- для символу «вентиль І»:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i); \quad (1)$$

- для символу «вентиль АБО»:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n P[1 - P(A_i)]; \quad (2)$$

де $P(A_i)$ – ймовірність події A_i .

2. Аналізування дерева подій (ЕТА) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.

ЕТА – метод графічного подання взаємовиключних послідовностей подій, що настають за першопочатковою подією, залежно від функціонування чи не функціонування різноманітних систем, спроектованих для пом'якшення її наслідків (рис. 2). Він може бути якісним або кількісним.

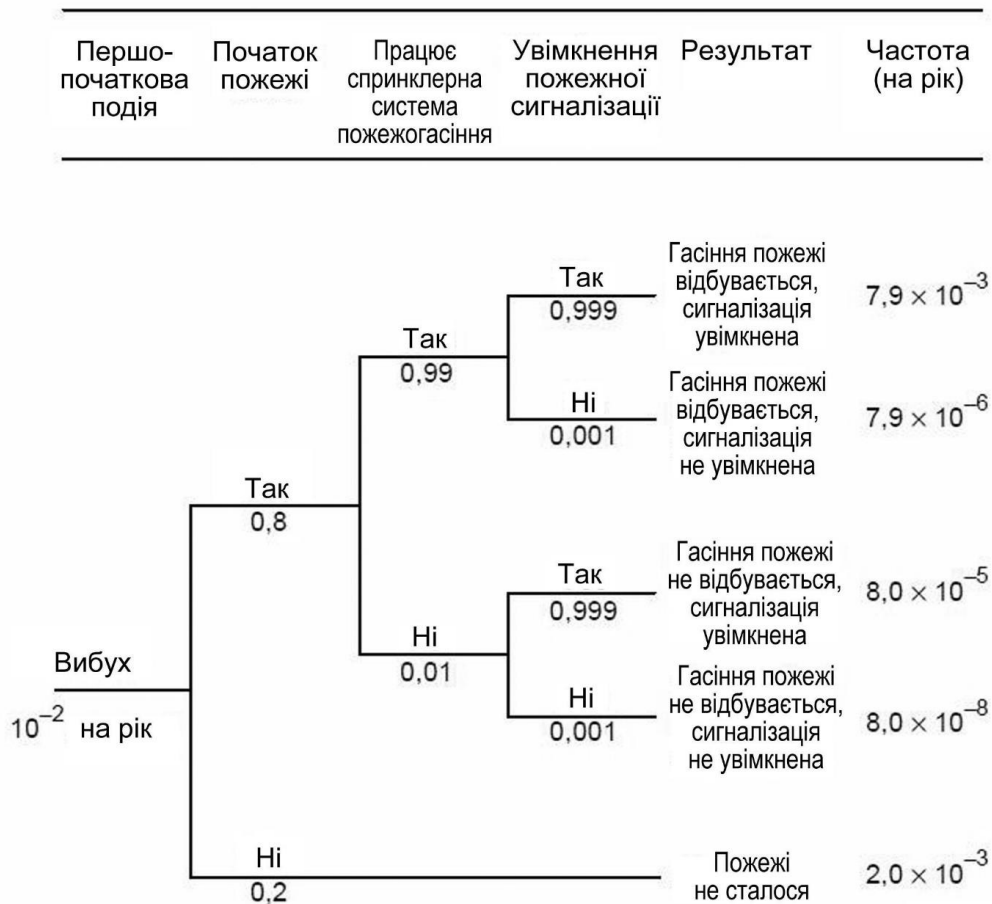


Рисунок.2 – Приклад дерева подій

На рис. 2 показано прості обчислення для прикладу дерева подій,

коли відгалуження цілком незалежні.

Розгортаючи події віялом як дерево, ЕТА дає можливість відобразити погіршувальні чи пом'якшувальні події у відповідь на першопочаткову подію, ураховуючи додаткові системи, функції чи бар'єри.

ЕТА можна застосовувати для моделювання, обчислювання та ранжування (з погляду на ризик) різних сценаріїв аварій, що настають за першопочатковою подією.

ЕТА може бути використано на будь-якій стадії життєвого циклу продукції чи процесу. Його можна провадити якісно, щоб сприяти розроблянню методом «мозкової атаки» потенційних сценаріїв подій, що настають за першопочатковою подією, і визначати те, як на результатах позначаються різноманітні способи оброблення, бар'єри чи засоби контролювання, призначені для пом'якшення небажаних результатів.

Кількісне аналізування придатне для розглядання прийнятності засобів контролювання. Найчастіше його використовують для моделювання відмов, коли запроваджено чисельні засоби захищення.

ЕТА може бути застосовано для моделювання першопочаткових подій, які можуть бути причиною шкоди чи вигоди. Однак обставини, за яких провадять пошук шляхів, оптимальних, зважаючи на вигоди, частіше моделюють за допомогою дерева рішень.

Вхідні дані такі:

- перелік властивих першопочаткових подій;
- інформація про оброблення, бар'єри та засоби контролювання, а також їхні ймовірності відмови (у разі кількісного аналізування);
- основні відомості про процеси, за яких погіршується ситуація у зв'язку з початковою відмовою.

Побудову дерева подій починають з вибирання першопочаткової події. Нею може бути випадок, наприклад, вибух пилу або причинна подія, наприклад, відмова джерела живлення. Потім послідовно перелічують уже запроваджені функції чи системи, призначені пом'якшувати результати. Для кожної функції чи системи креслять лінію, щоб відобразити їхній справний стан або відмову. До кожної лінії може бути віднесено конкретну ймовірність відмови і цю умовну ймовірність кількісно оцінюють, наприклад, на підставі експертного судження чи аналізування дерева відмов. Таким чином моделюють різні способи, починаючи з першопочаткової події.

Треба враховувати те, що ймовірності на дереві подій умовні,

наприклад, ймовірність функціонування спринклера – це не ймовірність, одержана з випробувань за нормальних умов, а ймовірність функціонування за умов пожежі, спричиненої вибухом.

Кожний шлях, що проходить крізь дерево, відображає ймовірність настання всіх подій на цьому шляху. Тому частоту результату подають добутком окремих умовних ймовірностей і частоти першопочаткової події за умови незалежності різноманітних подій.

Вихідні дані ЕТА такі:

- якісні описи потенційних проблем як комбінацій подій, що спричинюють різні типи проблем (діапазон результатів), зумовлених першопочатковими подіями;
- кількісні оцінки частот або ймовірностей подій і відносна вагомість різноманітних послідовностей відмов і подій, які цьому сприяють;
- переліки рекомендацій щодо зменшування ризиків;
- кількісні оцінки результативності рекомендацій.

Переваги ЕТА:

- ЕТА уможливорює чітке схематичне відображення аналізованих потенційних сценаріїв, які впливають з першопочаткової події, а також впливу безвідмовності чи відмови систем або функцій, призначених для пом'якшення наслідків;
- дає змогу враховувати тривалості, залежності та «ефекти доміно», обтяжливі для моделювання в деревах відмов;
- дає змогу відображати у графічному вигляді послідовності подій, які неможливо відобразити за використання дерев відмов.

Обмеженості ЕТА:

- для застосування ЕТА як частини всебічного загального оцінювання потрібно ідентифікувати всі потенційні першопочаткові події. Це можна виконати, застосувавши інший метод аналізування (наприклад: HAZOP, PNA), однак за цієї методології завжди є ризик того, що деякі важливі першопочаткові події не буде помічено;
- дерева подій застосовні тільки до розглядання безвідмовних і відмовних станів системи, отже, важко охопити справні стани із запізнюванням або відновні події;
- будь-який шлях зумовлюється подіями, що «відбулися» в попередніх точках розгалужень уздовж цього шляху. Тому розглядають усі залежності вздовж можливих шляхів. Однак деякі залежності, наприклад, спільні складники, системи інженерного забезпечення та виконавчий

персонал може бути не помічено через неуважність, що може спричинити оптимістичні оцінки ризику.

Визначивши всі вихідні події та організувавши їх у логічній послідовності дерева подій, можна отримати велику кількість потенційних сценаріїв аварії. За допомогою аналізу дерева подій можна визначити шляхи розвитку аварії, які роблять найбільший внесок у ризик через їх високу ймовірність або потенційну шкоду.

Висновок. Методи аналізування дерева несправностей (FTA) та дерева подій (ETA) є ключовими інструментами для систематичного ідентифікування чинників ризику та кількісного оцінювання ймовірності надзвичайних ситуацій. Метод FTA дає змогу дедуктивно дослідити причини небажаної завершальної події через логічні зв'язки, тоді як ETA фокусується на моделюванні сценаріїв, що розвиваються після першопочаткового інциденту залежно від спрацювання систем пом'якшення наслідків або факторів, що, навпаки, сприяють його розвитку. Спільне застосування цих підходів забезпечує наочне графічне подання аварійних процесів, що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо ранжування сценаріїв та вдосконалення бар'єрів безпеки на будь-якій стадії життєвого циклу системи

Питання для самоконтролю

1. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування дерева несправностей (FTA)».
2. Охарактеризуйте поняття «завершальна подія».
3. Символи, що використовують при побудові дерева відмов.
4. Етапи розроблення дерев несправностей.
5. Вихідні дані аналізування дерев несправностей.
6. Переваги FTA.
7. Обмеженості при складанні дерева несправностей.
8. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування дерева подій (ETA)».
9. Застосування методу ETA.
10. Вхідні дані для побудови дерева подій.
11. Порядок побудови дерева подій.
12. Переваги ETA.
13. Обмеженості при складанні дерева подій.

Рекомендована література

1. 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.

2. 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.

3. ДСТУ EN 62502:2022 Методи аналізування надійності. Аналізування дерева подій (ETA) (EN 62502:2010, IDT; IEC 62502:2010, IDT). [Чинний від 2023–12–31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100869.

4. Адаменко М.І., Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.

5. Копей Б.В., Копей В.Б., Мартинець О.Р., Стефанишин О.І., Стефанишин А.Б. Використання дерева відмов як методу структурного аналізу штангової насосної установки. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2013. № 2. С. 62–71.

6. Тараненко С., Голубева С. Використання «дерева відмов» як логіко-ймовірнісного методу аналізу суднових електродвигунів. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія: Транспортні системи і технології. 2022. № 40. С. 149–158.