

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Факультет пожежної безпеки

Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій

ОСНОВИ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ В ПОЖЕЖНІЙ БЕЗПЕЦІ

Конспект лекцій

Для здобувачів вищої освіти,
які навчаються на першому (бакалаврському) рівні
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»
(освітньо-професійна програма
«Аудит пожежної та техногенної безпеки»)

Харків 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Факультет пожежної безпеки

Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій

ОСНОВИ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ В ПОЖЕЖНІЙ БЕЗПЕЦІ

Конспект лекцій

Для здобувачів вищої освіти,
які навчаються на першому (бакалаврському) рівні
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»
(освітньо-професійна програма
«Аудит пожежної та техногенної безпеки»)

Харків 2023

Друкується за рішенням кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗ України (протокол від 26.09.23 № 2)

Укладачі: О. М. Григоренко, Ю. П. Ключка, В. В. Олійник

Рецензенти: доктор технічних наук, професор **Р. І. Шевченко**, начальник кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України;
доктор технічних наук, доцент **О. В. Землянський**, заступник начальника кафедри автоматичних систем безпеки та електроустановок Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

Основи ризик-орієнтованого підходу в пожежній безпеці: конспект лекцій. Для здобувачів вищої освіти, які навчаються на першому (бакалаврському) рівні в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» (освітньо-професійна програма «Аудит пожежної та техногенної безпеки») /Укладачі: О. М. Григоренко, Ю. П. Ключка, В. В. Олійник. – НУЦЗУ, 2023. – 162 с.

Конспект лекцій містить систематизоване викладення навчальної дисципліни «Основи ризик-орієнтованого підходу в пожежній безпеці» та відповідає програмі дисципліни; забезпечує формування професійно-орієнтованих знань здобувачів вищої освіти в області оцінки ризиків необхідних для отримання вмінь і навичок виконання практичних розрахунків щодо оцінки ризиків виникнення НС на об'єктах та розробки обґрунтованих заходів щодо їх зменшення та управління ризиками; забезпечує вивчення дев'яти тем для якісного засвоєння матеріалу дисципліни.

Конспект лекцій розкриває основні розділи робочої програми навчальної дисципліни «Основи ризик-орієнтованого підходу в пожежній безпеці» та містить ілюстрації, формули, таблиці, переліки контрольних питань по кожній лекції та посилання на використані джерела інформації, що дозволяє підвищити рівень засвоєння дисципліни та самостійно контролювати рівень знань.

© Григоренко О. М. , Ключка Ю. П. ,
Олійник В. В., 2023
©НУЦЗУ, 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лекція 1. Сутність ризик-орієнтованого підходу. Забезпечення пожежної та техногенної безпеки з урахуванням ризик-орієнтованого підходу	5
Лекція 2. Визначення та формалізація терміну «ризик».....	19
Лекція 3. Методологія розрахунку ризиків	28
Лекція 4. Методи розрахунку ризику та імовірності.....	38
Лекція 5. Розподіли випадкових величин при оцінці ризиків	57
Лекція 6. Надійність. Терміни та визначення.....	72
Лекція 7. Основні фактори ризику. Ідентифікація небезпек	84
Лекція 8. Розрахунок параметрів небезпечних чинників пожежі	93
Лекція 9. Розрахунок параметрів небезпечних чинників вибуху.....	100
Лекція 10. Розрахунок параметрів небезпечних факторів аварії на об'єктах з наявністю небезпечних хімічних речовин	115
Лекція 11. Побудова F–N і F–G діаграм.....	128
Лекція 12. Побудова дерева відмов, дерева подій	134
Лекція 13. Побудова полів ризику	142
Лекція 14. Пробіт-функція при оцінці ризиків.....	150
Лекція 15. Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій	157

ВСТУП

Основною метою освітньої компоненти «Основи ризик-орієнтованого підходу в пожежній безпеці» є формування у здобувачів вищої освіти професійно-орієнтованих знань в області оцінки ризиків.

Під час вивчення дисципліни здобувач вищої освіти набуває вмінь і навичок виконання практичних розрахунків щодо величини ризиків та приймати рішення щодо їх зменшення.

У результаті вивчення освітньої компоненти «Основи ризик-орієнтованого підходу в пожежній безпеці» здобувач вищої освіти повинен отримати знання про сучасні здобутки у сфері розрахунку ризиків, типи методів загального оцінювання ризику, тенденції розвитку нормативної бази щодо оцінки ризиків в Україні. А також засвоїти вміння застосовувати методи аналізування для загального оцінювання ризику, застосовувати знання щодо оцінки ризиків при рішенні практичних задач, застосовувати пробіт-функції при оцінці ризиків.

ЛЕКЦІЯ 1. СУТНІСТЬ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ З УРАХУВАННЯМ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

План

1. Сутність ризик-орієнтованого підходу.
2. Місце ризику в нормативних документах України.
3. Забезпечення пожежної та техногенної безпеки з урахуванням РОП.
4. Впровадження ризик-орієнтованого підходу в Україні

1.1 Сутність ризик-орієнтованого підходу.

Впровадження ризик орієнтованого підходу 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 території 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 агропромисловому комплексі;
- 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

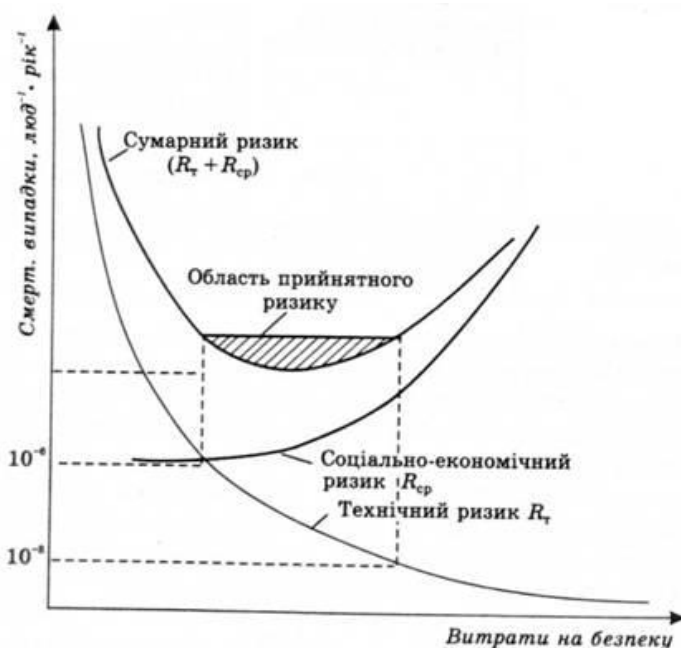
$$R = P \cdot A,$$

де P – ймовірність виникнення небезпеки;

A – 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.

В даний час прийнято вважати, що для дії техногенних небезпек в цілому індивідуальний ризик вважається прийнятним, якщо його величина не перевищує 10^{-6} .

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.

1.2 Місце ризику в нормативних документах України

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;
- Проект Положення про організацію управління ризиками.

Терміни та визначення основних понять

- **пожежна безпека** – відсутність неприпустимого **ризик**у виникнення і розвитку пожеж та пов’язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю (Кодекс цивільного захисту);
- **техногенна безпека** - 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 (проект Положення про організацію управління ризиками);
- **ідентифікація** – процес щодо виявлення, складання переліку та опису елементів ризику (проект Положення про організацію управління ризиками);
- **оцінка ризику** – загальний процес порівняння кількісно оціненого ризику з нормованими значеннями ризику (проект Положення про організацію управління ризиками);
- **ризик виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру (далі – ризик)** – поєднання ймовірності виникнення надзвичайної ситуації та розміру збитків від неї (проект Положення про організацію управління ризиками);
- **управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру (далі – управління ризиками)** – процес прийняття рішень і здійснення заходів, спрямованих на забезпечення мінімально можливого ризику (проект Положення про організацію управління ризиками);
- **план управління ризиками** – адміністративний інструмент, розроблений з метою впровадження політики управління ризиками, який базується на основі запобігання та зменшення ризиків (проект Положення про організацію управління ризиками).

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:

1) єдність методологічних підходів до оцінки ризиків, які існують на

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

2) стандартизацію методів нормування;

3) врахування значущості всіх наслідків соціально-економічного, природно-ресурсного, екологічного та іншого характеру, які можуть бути спричинені очікуваними надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру;

4) врахування особливостей видів виробничої діяльності, техногенного навантаження територій, природно-кліматичних особливостей, цінності окремих територій;

5) галузеву і територіальну диференціацію нормативів ризиків;

6) 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;

7) періодичне коригування нормативів ризиків.

Під час визначення рівнів прийнятних ризиків застосовується значення ризиків, що використовується в економічно розвинутих країнах, а саме:

Мінімальний ризик – менший або дорівнює 10^{-8} рік⁻¹.

Гранично допустимий ризик – який дорівнює 10^{-5} рік⁻¹.

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

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

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.

Розглянемо детермінований підхід на прикладі Постанови КМ України №715 від 05 вересня 2018 р. «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (конт-

ролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій».

З урахуванням значення прийнятного ризику всі суб'єкти господарювання, що підлягають нагляду (контролю), належать до одного з трьох ступенів ризику: високий, середній або незначний.

Залежно від ступеня ризику органом державного нагляду (контролю) визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю).

Критерії, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю), затверджуються Кабінетом Міністрів України за поданням органу державного нагляду (контролю).

Перелік критеріїв за якими оцінюється ступінь ризику:

- **вид об'єкта** (приміщення, будівля, споруда, будинок, територія), що належить суб'єкту господарювання на праві власності, володіння, користування;
- площа об'єкта;
- **максимальна розрахункова (проектна) кількість людей**, які постійно або періодично перебувають на об'єкті;
- **умовна висота об'єкта** (висота, яка визначається різницею позначок найнижчого рівня проїзду (установлення) пожежних автодрабин (автопідйомників) і підлоги верхнього поверху без урахування верхніх технічних поверхів, якщо на технічних поверхах розміщено лише інженерні обладнання та комунікації будинку);
- **наявність та масштаб небезпечних подій, надзвичайних ситуацій**, які сталися на об'єкті протягом останніх п'яти років, що передують плановому періоду;
- клас наслідків (відповідальності) під час будівництва об'єкта;
- **кількість порушень вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки**, пов'язаних з експлуатацією або під час будівництва об'єкта та виявлених протягом останніх п'яти років, що передують плановому періоду.

Кількість балів, що нараховуються за кожним із критеріїв визначено у додатку 2 ПКМУ №715.

Віднесення суб'єкта господарювання до високого, середнього або незначного ступеня ризику здійснюється з урахуванням суми балів, нарахованих за всіма критеріями, визначеними в додатку 2, за такою шкалою:

- 1) від 41 до 100 балів - високий;
- 2) від 21 до 40 балів - середній;
- 3) від 0 до 20 балів - незначний.

Якщо суб'єкту господарювання належить на праві власності, володіння або користування більше одного об'єкта, кількість балів нараховується за всіма критеріями, визначеними в додатку 2, окремо щодо кожного об'єкта.

Стосовно об'єктів, що будуються, сума балів нараховується лише за критеріями 5-7, визначеними в додатку 2.

Планові заходи державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки здійснюються за діяльністю суб'єктів господарювання з такою періодичністю:

- з високим ступенем ризику - не частіше одного разу на два роки;
- із середнім ступенем ризику - не частіше одного разу на три роки;
- з незначним ступенем ризику - не частіше одного разу на п'ять років.

Ймовірнісний підхід до оцінювання рівня ризику є більш досконалим 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 безпеки, що в свою чергу, дозволяє виявляти оптимальні рішення для забезпечення нормативного значення рівня ризику. Об'єктом дослідження дисципліни «Основи ризик орієнтованого підходу в пожежній безпеці» є саме вивчення ймовірнісного підходу оцінки ризиків.

1.3 Забезпечення пожежної та техногенної безпеки з урахуванням РОП

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.

Управління ризиками повинне здійснюватися на таких принципах:

- 1) прийнятності, який полягає у визначенні та досягненні у державі соціально, економічно і технічно обґрунтованих нормативних значень ризиків для населення, навколишнього природного середовища та об'єктів економіки;
- 2) превентивності, який передбачає максимально можливе і завчасне виявлення небезпечних значень показників стану чи небезпечного процесу, які створюють загрозу виникнення надзвичайних ситуацій, та вжиття конкретних заходів, спрямованих на нейтралізацію такої загрози та/або мінімізації її наслідків;
- 3) мінімізації, згідно з яким ризик необхідно зменшувати до рівня досягнення розумного компромісу між безпекою та розміром витрат на її забезпечення;
- 4) повноти, відповідно до якого ризику для життєдіяльності людини чи функціонування будь-якого об'єкта є інтегральною величиною, яка

повинна визначатися з урахуванням усіх загроз виникнення аварій та/або надзвичайних ситуацій, а також людського фактора;

5) адресності, який полягає в тому, що ризиком повинен управляти той суб'єкт управління ризиком, на об'єкті або території якого він існує;

6) вибору доцільного значення, відповідно до якого суб'єкт управління ризиком забезпечує в межах від мінімального до гранично допустимого таке значення ризику, яке він вважає доцільним виходячи з наявних у нього економічних, технічних і матеріальних ресурсів та існуючих соціальних і політичних умов; суб'єкт управління ризиком, вибираючи доцільне значення ризику, гарантує певний рівень безпеки для населення та сплату страхових виплат у разі виникнення надзвичайних ситуацій;

7) обов'язковості інформування, який полягає в тому, що кожний суб'єкт управління ризиком зобов'язаний регулярно надавати органам державної влади та органам місцевого самоврядування існуючі значення;

8) свободи інформації, відповідно до якого необхідно враховувати громадську думку під час вирішення питань щодо будівництва та експлуатації існуючих потенційно небезпечних об'єктів.

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.

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».

Під управлінням ризиками розуміють діяльність, пов'язану з ідентифікацією, аналізом ризиків і прийняттям рішень, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків настання небажаних подій і/або зменшення ймовірності їх реалізації до прийнятних значень.

Управління ризиками здійснюється в межах значень від мінімально можливого до прийнятного, визначених для конкретного об'єкта управління.

Так, наприклад, нормативна база ризиків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру спирається на два основні нормативні рівні ризиків: мінімально можливий і гранично припустимий.

Прийнятний рівень ризику є ризик, менший або рівний гранично припустимого рівня ризику, а мінімально можливий – це той рівень, нижче якого зниження ризику є економічно недоцільним.

Під час визначення рівнів прийнятних ризиків застосовуватимуться значення ризиків, що використовуються в економічно розвинутих державах, а саме:

- **мінімальний ризик - менший або який дорівнює $1 \cdot 10^{-8}$;**
- **гранично допустимий ризик - який дорівнює $1 \cdot 10^{-5}$.**

1.4 Впровадження ризик-орієнтованого підходу в Україні

Нормативна база:

- ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику;
- 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».

Для підвищення ступеня захищеності населення і територій України від надзвичайних ситуацій, зменшення ризиків виникнення та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру прийнято Розпорядження КМ України №37-р від 22 січня 2014 р. «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».

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.

Для забезпечення єдності методологічних підходів до оцінки ризиків, які існують на всій території України, та тих джерел небезпеки поза її межами, що можуть мати транскордонний вплив встановлено Порядок паспортизації територій щодо ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, що затверджений наказом МНС від 24.09.2007 р. № 659 «Про удосконалення паспортизації територій щодо ризиків виникнення надзвичайних ситуацій».

Цей Порядок встановлює єдині вимоги до паспортизації територій за ризиком виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного та природного характеру для оцінки поточного і прогнозного стану техногенної та природної безпеки регіонів і оперативного використання органами управління з питань цивільного захисту під час планування заходів цивільного захисту та реагування на НС.

Паспортизація передбачає складення і ведення **паспортів ризику виникнення НС техногенного та природного характеру** (далі – **Паспорт ризику**) в електронній та паперовій формах.

Паспорт ризику містить структуровані дані про окрему адміністратив-

но-територіальну одиницю.

Електронна форма Паспорта ризику – автоматизована довідково-інформаційна система ризику виникнення НС призначена для ведення та редагування узагальненого паспорта та регіональних паспортів ризику виникнення НС, пошуку й аналізу інформації, що міститься у паспортах, генерації і друку звітів за результатами аналізу.

Джерелами вихідної інформації для складання паспортів є державна та відомча статистична звітність, відомості центральних і місцевих органів виконавчої влади, дані реєстрів, результати обстежень, вишукувань і звітів, документація та дані власників об'єктів, інших документів.

Паспорт ризику є джерелом інформації для визначення кількісних показників ймовірності виникнення НС та ризику НС.

Нормативним підґрунтям управління ризиками, у тому числі й техногенними та пожежними є ДСТУ ІЕС/ІСО 31010 (ІЕС/ІСО 31010:2009, ІДТ) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.

Згідно ДСТУ ІЕС/ІСО 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) 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:

$$P_B = 1 - R_I, \quad (1)$$

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

R_I – 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 є прийнятним, якщо:

$$R_I \leq R_I^H, \quad (2)$$

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

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

$$R_I = \max \{R_{I,1}, \dots, R_{I,i}, \dots, R_{I,N}\}, \quad (3)$$

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 витрат 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.

Отже, 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 прийняттого 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».

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. Що таке «пожежна безпека»?
9. Дайте визначення терміну «техногенна безпека».
10. Яким нормативним документом затверджено критерії, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій?
11. Як класифікують об'єкти, що підлягають нагляду (контролю) у сфері пожежної та техногенної безпеки з урахуванням значення прийнятного ризику?
12. Назвати критерії за якими оцінюється ступінь ризику?
13. Періодичність планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки.
14. З якою метою здійснюється ведення паспортів ризику виникнення НС техногенного та природного характеру?
15. Значення прийнятного рівня індивідуального пожежного ризику?
16. Основні вимоги ДСТУ 8828:2019.

Рекомендована література

1. Розпорядження КМ України №37-р від 22 січня 2014 р. «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру».
2. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. – Київ: Держстандарт України, 2006. – 38 с.

3. Кодекс цивільного захисту України (Закон Верховної Ради України від 02.10.2012 № 5403-VI).

4. Постанова КМ України №715 від 05 вересня 2018 р. «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій».

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

6. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.

7. Проект Положення про організацію управління ризиками.

8. 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.

ЛЕКЦІЯ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕРМІНУ «РИЗИК»

План

1. Визначення та формалізація терміну «ризик».
2. Класифікація ризиків.

Вступ

Об'єктивне існування ризику зумовлене ймовірнісним характером багатьох природних, соціальних і технологічних процесів, багатоваріантністю матеріальних та ідеологічних стосунків, в які вступають суб'єкти соціального життя.

Термін «ризик» використовується як у науковому, так і в повсякденному спілкуванні.

Ризик є необхідною складовою людської діяльності, коли існує невпевненість у результатах того чи іншого рішення, процесу.

Накопичення наукових знань про ймовірнісний характер природних і суспільних процесів, розвиток окремих розділів математики, необхідність вироблення юридичних норм і правил призвели до того, що ризик потрапляє в поле зору представників різних природничих і суспільних наук.

2.1 Визначення та формалізація терміну «ризик»

Поняття «ризик» вивчається багатьма конкретними науками – теорією ігор, теорією ймовірностей, теорією стохастичної оптимізації, ймовірнісною і багатозначною логікою, теорією катастроф, теорією прийняття рішень, психологією, військовими, економічними, демографічними, медичними, біологічними, правовими та іншими дисциплінами.

Термін «ризик» зустрічається практично в кожній сфері господарської діяльності та суспільного життя людини, і в кожній з них цей термін отримує певні риси, уточнення, доповнення, що притаманні саме цій сфері.

Словники визначають ризик як можливість небезпеки, можливість того, що станеться щось небажане: пошкодження, збитки, травма, смерть тощо.

Всі суб'єкти (як люди, так і організації) свідомо чи несвідомо постійно оцінюють ступінь (міру) ризику своїх вчинків. Ступінь ризику, окрім всього іншого, залежить ще й від характеру і психології людини.

Основними параметрами оцінок ступеня ризику є такі:

- ймовірність втрат (чим вона вища, тим більший ризик);
- величина втрат (чим вона більша, тим небезпечніший ризик).

Загалом втрати поділяються на матеріальні, трудові, фінансові, втрати часу та спеціальні види втрат.

Матеріальні втрати проявляються в додаткових непередбачуваних проектом затратах, прямих втратах виробничих потужностей, майна, продукції, сировини, енергії та ін. Зрозуміло, що матеріальні втрати вимірюються в тих одиницях, в яких вимірюються кількості даного виду матеріальних ресур-

сів, тобто у фізичних одиницях ваги, об'єму, площі тощо. Але ці втрати можна подати і у грошовому еквіваленті.

Трудові втрати – це втрати робочого часу, викликані випадковими, непередбачуваними обставинами. Вони вимірюються в одиницях робочого часу і також можуть бути переведені у грошовий еквівалент.

Фінансові втрати – це прямі грошові втрати, які можуть бути викликані непередбачуваними платежами, сплатами штрафів, додаткових податків, втратами коштів та цінних паперів, неповерненнями боргів, зменшеннями прибутків тощо.

Втрати часу існують тоді, коли процес діяльності йде повільніше, ніж було заплановано. Такі втрати оцінюються в годинах, днях, тижнях, місяцях запізнь в отриманні необхідного результату. Для оцінки цих втрат у грошовому еквіваленті необхідно з'ясувати, до яких втрат прибутку можуть призвести випадкові втрати часу.

Всі ці види втрат можуть бути виміряні у грошовому еквіваленті. Але існують інші, так звані **спеціальні види втрат**, коли наноситься шкода життю або здоров'ю людей, престижу підприємця, довкіллю, а також внаслідок інших небезпечних соціальних та морально-психологічних чинників.

2.2 Класифікація ризиків

Визначення терміну «ризик» залежно від сфери його застосування:

Соціально-політична сфера

Ризик – діяльність, що здійснюється суб'єктами суспільного життя в ситуації неминучого вибору в умовах творчості, впровадження новацій, здійснення ініціативи тощо, пов'язана з «усуненням» невизначеності; ймовірність настання сприятливих і несприятливих наслідків діяльності.

Ризик – ймовірність небажаних подій, які потрібно враховувати в політиці та економіці.

Ризик – це невизначена ситуація, наслідки якої небажані.

Техногенна сфера

Ризик – потенційна загроза реалізації техногенних або природних надзвичайних ситуацій з наслідками у вигляді завдання шкоди здоров'ю людини та навколишньому середовищу або у вигляді завдання матеріальних збитків суспільству й державі.

Ризик – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки і/або за його межами.

Ризик – це ймовірнісна міра можливості реалізації небезпеки у вигляді певного збитку в штучно створеній діями суб'єкту ситуації.

Фінансово-економічна сфера

Ризик – невизначеність наших фінансових результатів у майбутньому, зумовлена невизначеністю самого майбутнього.

Ризик – імовірність втрати цінностей (фінансових ресурсів) в результаті діяльності, якщо обставини і умови проведення діяльності будуть змінюватись в напрямку, відмінному від передбачуваного планами та розрахунками.

Ризик – можливість появи деякої небажаної події, що призводить до різноманітних втрат (втрата майна, недоотримання прибутків та ін.).

Ризик – можлива небезпека втрат, що випливають зі специфіки тих чи інших явищ природи та видів людської діяльності.

Ризик – майбутня випадкова подія, поява якої наносить певні збитки якійсь діяльності.

Виробнича сфера

Ризик – можливість втрати підприємством частини своїх ресурсів, недоотримання прибутків або появи додаткових видатків у результаті певної виробничої або фінансової діяльності.

Ризик – можна охарактеризувати як імовірність недоотримання запланованих прибутків в умовах невизначеності, що супроводжують діяльність підприємства.

Ризик – небезпека, можливість втрат або пошкоджень.

Страхова сфера

Ризик – ймовірність отримати збитки або втратити прибутки (кількісно вимірювана невпевненість в отриманні відповідних прибутків чи збитків).

Страховим ризиком є очікувана подія, на випадок якої проводиться страхування.

Ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру значною мірою визначається станом потенційно небезпечних об'єктів.

Вимогами ст. 8 Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» (ст. 8) визначено обов'язки оператора (юридичної особи або фізичної особи-підприємця, яка експлуатує (планує експлуатувати) хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки).

Зокрема, оператор зобов'язаний:

- вживати заходів, направлених на запобігання аваріям, обмеження і ліквідацію їх наслідків та захист людей і довкілля від їх впливу;
- повідомляти про аварію, що сталася на об'єкті підвищеної небезпеки, і заходи, вжиті для ліквідації її наслідків, органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування та населення;
- забезпечувати експлуатацію об'єктів підвищеної небезпеки з дотриманням прийнятного рівня ризику;
- виконувати вимоги Закону «Про об'єкти підвищеної небезпеки» та інших нормативно-правових актів, які регулюють діяльність об'єктів підвищеної небезпеки;
- надавати центральному органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, або його територіальному органу (у разі його утворення) на його вимогу інформацію та документи щодо:

- вжиття на об'єкті підвищеної небезпеки заходів, передбачених цим Законом України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» та іншими нормативно-правовими актами;
- збільшення кількості або зміни властивостей небезпечних речовин на об'єкті підвищеної небезпеки, що призводить до збільшення ризику виникнення аварій;
- модернізації виробництва, устаткування, зміни технології, що призводить до збільшення ризику виникнення аварій;
- припинення своєї діяльності або виведення з експлуатації об'єкта підвищеної небезпеки.

З метою визначення переліку вимог, рекомендацій, обмежень та заходів, спрямованих на забезпечення виконання вимог законодавства у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, запобіганням виникненню аварій ст. 9 Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» вимагає від оператора, у підпорядкуванні якого є хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки, затверджувати політику запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки 1 або 2 класу. Зміст, порядок розроблення політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки, її перегляду, а також оцінки ефективності визначаються **наказом МВС №115 від 21.02.2023 р. «Про затвердження Порядку розроблення політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки»**.

Політика затверджується розпорядчим документом оператора та надається апарату ДСНС або територіальному органу ДСНС:

- для ОПН, що експлуатуються, разом із результатами ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки, який він експлуатує;
- для ОПН, закінчених будівництвом, - не пізніше ніж за 30 календарних днів до дня подання до відповідного органу державного архітектурно-будівельного контролю заяви про прийняття в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта та видачу сертифіката.

Для об'єктів підвищеної небезпеки 1 та 2 класів оператор також готує і подає у встановленому законодавством порядку центральному органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, або його територіальному органу (у разі його утворення) за місцезнаходженням об'єкта підвищеної небезпеки звіт про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки, який він експлуатує, а також перед прийняттям в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта не пізніше ніж за 30 календарних днів до дня подання до відповідного органу державного архітектурно-будівельного контролю заяви про прийняття в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта та видачу сертифіката.

Оператор зобов'язаний протягом 30 календарних днів після виникнення аварії на об'єкті підвищеної небезпеки і у строк не більш як 80 календарних днів після початку модернізації виробництва чи зміни технології переглянути звіт про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки та за потреби внести до нього зміни.

Після отримання звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, або його територіальний орган (у разі його утворення) спільно з іншим уповноваженим законом органом виконавчої влади, що здійснює державний нагляд та контроль у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, протягом 15 робочих днів проводить перевірку наданих відомостей, про результати якої протягом п'яти робочих днів інформує оператора.

У разі виявлення під час перевірки недостовірних або неповних відомостей у звіті про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки оператор у строк не пізніше ніж 10 робочих днів після отримання результатів такої перевірки вносить зміни до звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки та повторно подає його до центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, або його територіального органу (у разі його утворення) за місцезнаходженням об'єкта підвищеної небезпеки.

У разі не усунення оператором виявлених під час перевірки недоліків у поданому звіті про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки або неподання оператором звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки у строки, визначені частинами першою, другою та четвертою цієї статті, центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, або його територіальний орган (у разі його утворення) інформує відповідний орган державного архітектурно-будівельного контролю для вжиття заходів щодо відмови у видачі сертифіката про прийняття в експлуатацію об'єкта підвищеної небезпеки або спільно з іншими уповноваженими законом виконавчими органами влади, що здійснюють державний нагляд та контроль у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, вживає відповідно до закону заходів з припинення експлуатації об'єкта підвищеної небезпеки або джерела небезпеки.

Порядок розроблення та перегляду звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки, вимоги до його змісту встановлено **наказом МВС №114 від 21.02.2023 р. «Про затвердження Порядку розроблення звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки»**.

Розроблення звіту включає аналіз прийнятих рішень та вжитих заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації ОПН, запобігання аваріям та зменшення наслідків у разі їх виникнення.

У звіті про заходи безпеки на ОПН оператор відображає інформацію, зокрема, і щодо застосованої ним системи управління безпекою та організації на ОПН заходів із запобігання аваріям. Однією із складових системи управління безпекою є оцінювання ризику. Оцінювання ризику є важливим з точки зору визначення напрямків забезпечення прийнятних рівнів ризиків у випадку виникнення надзвичайних ситуацій на ОПН.

У зв'язку з тим, що звіт про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки складається на основі результатів дослідження оператором ступеню не-

безпеки та оцінки рівня ризику виникнення аварій, пов'язаних з цим об'єктом, важливим є вивчення методики визначення ризиків.

Оцінка рівня ризику виконується відповідно до Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, затвердженої Наказом Міністерства праці та соціальної політики України за №637 від 04.12.2002 р.

У Методиці застосовуються такі терміни та їх визначення:

Небезпека аварії – загроза, можливість заподіяння збитків людині, майну і (чи) довкіллю внаслідок аварії на об'єкті підвищеної небезпеки.

Об'єкт «турботи» – реципієнти, негативний вплив аварій, на які створює небезпеку для життєдіяльності населення та для довкілля і зачіпає інтереси громадськості.

Оцінка ризику аварії – процес визначення ймовірності та вагомості наслідків реалізації небезпек аварій для здоров'я людини, майна і довкілля.

Прийнятний ризик – ризик, який не перевищує на території об'єкта підвищеної небезпеки і за його межами гранично допустимого рівня.

Ризик – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки та/або за його межами.

Збитки від аварії – втрати (збитки) у виробничій і невиробничій сфері життєдіяльності людини, шкода довкіллю, заподіяні в результаті аварії на об'єкті підвищеної небезпеки й обчислювальні в грошовому еквіваленті.

Прийнятний ризик для об'єктів «турботи», що визначені в процесі постановки завдання дослідження ризику, повинен встановлюватися місцевими органами виконавчої влади з урахуванням:

1. чинних нормативних актів;
2. угод між суб'єктом господарської діяльності, що є власником об'єкта підвищеної небезпеки, та зацікавленими сторонами;
3. економічних і соціальних умов регіону;
4. експертних оцінок;
5. досвіду інших регіонів;
6. інших обставин.

Для об'єкта підвищеної небезпеки прийнятний ризик встановлюється з урахуванням створюваного ним масштабу небезпеки та розташування в регіоні інших підприємств, що мають об'єкти підвищеної небезпеки, за умови, що сумарний ризик виникнення небажаних наслідків не перевищує встановленого. Встановлюється значення, вище якого ризик вважається абсолютно неприйнятним (верхній рівень), і значення, нижче якого ризик вважається абсолютно прийнятним (нижній рівень). Якщо місцевими радами не встановлений прийнятний ризик для визначених об'єктів «турботи», то для складання звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки застосовуються рівні, наведені у методиці, затвердженій Наказом Міністерства праці та соціальної політики України за №637 від 04.12.2002 р.

З 80-х років минулого століття в європейських країнах у безпековому світогляді розпочався перехід від концепції «абсолютної безпеки» до концепції «прийнятної ризику», за якою на державному рівні встановлюються граничні нормативи прийнятної ризику, що слугують основою управління безпекою.

Межі індивідуального ризику. Індивідуальний ризик являє собою ймовірність, з якою індивід може зазнати певної шкоди. Відомі три основних підходи вибору значення прийнятної індивідуального техногенного ризику:

1) Ризик смерті в результаті прояву техногенних небезпек не повинен перевищувати 1% мінімальної ймовірності смерті протягом усього періоду життя людини. За основу приймається ризик смерті індивідуума у віці 10-15 років, який відповідно до статистичних даних з вікової смертності складає 10^{-4} на рік і є мінімальним протягом усього його життя.

2) Вибирається ризик смерті, з яким суспільство так або інакше погоджується. Це значення ризику стає прийнятним для техногенної небезпеки, але це не означає, що воно буде прийнятним у суспільстві для іншого виду небезпеки.

3) Значення прийнятної ризику вибирається на основі врахування різниці у сприйнятті людиною добровільних і вимушених небезпек. Наприклад, видобуток вугілля (добровільний ризик) і проживання поряд із небезпечним техногенним об'єктом (вимушений ризик). За рівних умов прийнятні рівні добровільного та вимушеного ризиків можуть відрізнятись на 1-2 порядки.

Принцип ALARA – один з основних критеріїв, сформульований в 1954 році Міжнародною комісією радіологічного захисту з метою мінімізації шкідливого впливу іонізуючого випромінювання. Передбачає підтримку на можливо низькому і досяжному рівні як індивідуальних (нижче меж, встановлених діючими нормами), так і колективних доз опромінення, з урахуванням соціальних і економічних чинників.

Принцип ALARA широко використовується на АЕС та інших небезпечних об'єктах усього світу в якості одного з найважливіших принципів забезпечення радіаційної безпеки при проведенні, при плануванні, підготовці та виконанні радіаційно-небезпечних робіт.

Межі соціального ризику

Встановлені рівні ризиків у різних країнах можуть відрізнятись між собою. Для деяких європейських країн рівні ризиків наведено у таблиці 2.1.

Соціальний ризик є співвідношенням між ймовірністю виникнення збитку певної величини й розміром збитку: наприклад, між ймовірністю аварії, з кількістю жертв N та цією кількістю жертв (так звані F-N діаграми, відомі як криві Фармера).

Граничні значення (критерії) соціального ризику у Великій Британії введені наприкінці 1970-х років минулого століття.

Таблиця 2.1 – Офіційно встановлені рівні ризиків у деяких країнах Європи

Рівень річного індивідуального ризику	Велика Британія	Нідерланди	Угорщина	Чеська Республіка
10^{-4}	Неприпустимий рівень для населення			
10^{-5}	Рівень припустимого ризику регулюється за принципом ALARA	Граничний рівень для діючих промислових установок. Застосовується принцип ALARA	Верхня межа	Граничний рівень для діючих промислових установок. Слід здійснювати заходи щодо зниження ризику
10^{-6}	Суспільно прийнятний рівень ризику	Граничний рівень для нових промислових установок і єдиний граничний рівень після 2010 р. Застосовується принцип ALARA	Нижня межа	Граничний рівень для нових установок
10^{-7}	Незначний (знехтувано малий) рівень ризику			
10^{-8}		Незначний (знехтувано малий) рівень ризику		

Консультативний комітет з великомасштабних небезпек у 1976 році сформулював припущення про те, що велика аварія на окремій промисловій установці може відбутися не частіше ніж один раз за 10000 років, що можна вважати границею прийнятності ризику.

Питання для самоконтролю

1. За якими основними параметрами оцінюється ступінь ризику?
2. Дайте класифікацію та загальну характеристику втрат від НС.
3. Наведіть класифікацію ризиків залежно від сфери застосування
4. Яким нормативним документом затверджено Методику визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки?
5. Наведіть визначення терміну «ризик» згідно Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки.

6. Наведіть визначення терміну «прийнятний ризик» згідно Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки?

7. Наведіть основні кількісні показники ризику аварії.

8. Які рівні ризику аварій на ОПН для населення вважаються абсолютно прийнятними?

Рекомендована література

1. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. – Київ: Держстандарт України, 2006. – 38 с.

2. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» (18.01.2001 рік).

3. Порядок розроблення звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки. Затверджено наказом МВС від 21.02.2023 р. №114.

4. Наказ МВС №115 від 21.02.2023 р. «Про затвердження Порядку розроблення політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки»

5. Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено наказом Мінпраці від 4.12.2002 р. №637.

ЛЕКЦІЯ 3. МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ РИЗИКІВ

План

1. Компоненти, що характеризують ризик.
2. Методологія розрахунку ризиків.

3.1 Компоненти, що характеризують ризик

3.1.1. Фактори небезпеки та ризик

Фактором небезпеки називається фактор (будь-який хімічний, фізичний, біологічний чинник, речовина, матеріал або продукт), дія якого за певних умов призводить до травми або погіршення здоров'я, хвороби людини, а також до аварії, катастрофи, які у свою чергу, ведуть до матеріальних втрат та людських жертв.

Небезпеки впливають на людину завдяки своїм специфічним факторам.

Небезпеки класифікують:

- за природою походження – природні, технічні, антропогенні, змішані;
- за часом виявлення негативних наслідків – імпульсивні, кумулятивні;
- за локалізацією – пов'язані з літосферою, атмосферою, космосом;
- за спричиненими наслідками – захворювання, травми, аварії, пожежі, фатальні наслідки та ін.;
- за завданими збитками – технічні, екологічні, соціальні і т.д.;
- за сферами прояву небезпек – побутова, спортивна, дорожньо-транспортна, виробнича, військова та ін.;
- за структурою (будовою) – прості та складні, породжені взаємодією простих;
- за характером впливу – активні та пасивні;
- за здатністю людини ідентифікувати небезпеку органами чуття – відчутні та невідчутні.

Фактор або група факторів небезпеки, що належать до природної сфери, формують появу природних небезпек, характеризують несприятливий вплив на людину та на всі живі організми природного середовища. До цієї групи належать кліматичні, ґрунтові, геоморфологічні та біотичні чинники.

До факторів небезпеки в техногенній сфері належать технічні, санітарно-гігієнічні, організаційні та психофізіологічні чинники.

Надалі основна увага буде наділена факторам небезпеки техногенного походження.

Техногенні (або антропогенні) фактори, зумовлені господарською діяльністю людей (надмірними викидами та скидами в навколишнє середовище відходів господарської діяльності в умовах її нормального функціонування та в аварійних ситуаціях; з господарською діяльністю (подібними негативними процесами, діями або рішеннями).

Технічне середовище слід розглядати як джерело підвищеної небезпеки для людей та навколишнього середовища. Це неминучий побічний результат науково-технічного прогресу. Спостерігаються неухильне збільшення швидкостей на транспорті, енергонасиченості виробництв, зміну технологій в промисловості, створюються унікальні за розмірами та потужністю промислові об'єкти. Все це призводить до постановки проблеми забезпечення техногенної безпеки.

Значне місце у проблемі техногенної безпеки займає безпека під час нормальної експлуатації потенційно небезпечного об'єкта. Коли загроза життю і здоров'ю людини, шкоди для довкілля, викликано порушеннями працездатності об'єкта, тобто його відмовою, необхідно особливу увагу приділяти забезпеченню безвідмовності. Такі відмови повинні бути виключені за допомогою технічних та організаційних заходів, або ймовірність їх виникнення протягом нормативного терміну служби має бути знижена до мінімуму.

Критичні відмови часто призводять до виникнення аварій із значними економічними наслідками чи численними людськими жертвами – катастроф.

Аварії можуть бути пов'язані як з винятковими впливами (ударними навантаженнями, ураганами, повеннями, пожежами — природні чинники), так і з несприятливим поєднанням звичайних навантажень з малою ймовірністю їх появи. Вихідною причиною аварії можуть бути критичні помилки, допущені при проектуванні, розрахунку, виготовленні, монтажі, експлуатації та технічному обслуговуванні, а також поєднання цих помилок з несприятливими зовнішніми умовами, що не залежать від технічного персоналу.

Серед факторів, що безпосередньо призводять до аварійності та травматизму, виділяються слабкі практичні навички персоналу у нестандартних ситуаціях, невміння правильно оцінювати обстановку.

Виникнення подій – наслідок появи та розвитку причинного ланцюга передумов, що призводять до втрати управління процесом, небажаного вивільнення використовуваної енергії та впливу її на людей, обладнання та навколишнє середовище.

Ініціаторами та складовими ланками причинного ланцюга події є помилкові та несанкціоновані дії людей, несправності та відмови використовуваної техніки, а також не розрахункові (несподівані та такі, що перевищують допустимі межі) зовнішні фактори довкілля.

Ризик-орієнтований (ймовірнісний) підхід стосовно забезпечення техногенної та пожежної безпеки відповідного об'єкта може бути реалізований у процесі загального оцінювання ризику, одним (і важливим) із етапів якого є процес ідентифікування ризику. Згідно ДСТУ ІЕС/ISO 31010, ідентифікування ризику – це процес виявлення, усвідомлення та реєстрування ризику.

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

Розглянемо деякі фактори ризику пожежі на підприємстві. При цьому окремо розглянемо фактори, що впливають на ймовірність виникнення пожежі, та фактори, що, впливають на величину втрат.

Фактори, що впливають ймовірність виникнення пожежі:

- 1) вид та кількість сировини та продукції;
- 2) параметри технологічного процесу;
- 3) надійність технологічного обладнання;
- 4) наявність та надійність технологічної автоматики;
- 5) зношеність обладнання;
- 6) кваліфікація персоналу;
- 7) стан інженерних мереж та комунікацій;
- 8) розташування об'єкта (з точки зору впливу природних загроз) та ін.

Фактори, що, впливають на величину втрат:

- 1) наявність сигналізації та системи автоматичного пожежогасіння на об'єкті;
- 2) наявність первинних засобів пожежогасіння та вміння ними користуватися;
- 3) наявність пожежних кран-комплектів та їх комплектація;
- 4) використання навчальних «тривог» для евакуації персоналу за необхідний інтервал часу;
- 5) наявність додаткових евакуаційних виходів;
- 6) евакуаційні виходи мають знаходитися у належному стані;
- 7) наявність під'їздів для пожежно-рятувальних підрозділів;
- 8) час сповіщення про пожежу та слідування до місця пожежі, час оперативного розгортання, локалізації та ліквідації пожежі;

- 9) вміння надавати кваліфіковану домедичну допомогу постраждалим та ін.

Тобто керування ризиком можна представити як сукупність обґрунтованих рішень, що спрямовані на зменшення компонентів (складових) ризику – ймовірності НС та (або) її наслідків.

Ідентифікування факторів ризику є важливим етапом у загальному оцінюванні ризику оскільки від повноти урахування складових ризику будуть залежати результати його оцінювання.

3.1.2 Поняття індивідуального, територіального та соціального ризиків

Згідно Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (Затвержені 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 – імовірність загибелі людей понад певну кількість (або очікувана кількість загиблих) у даному регіоні протягом року від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки, з урахуванням імовірності їх перебування в зоні ураження.

Для життя людини рекомендується вважати неприйнятним:

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

$R_i \leq 10^{-6}$ – 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);

$R_s \leq 10^{-5}$ – 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 – $R_l \leq 10^{-7}$;
- 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.

3.2 Методологія розрахунку ризиків

Керування ризиком передбачає застосування логічних і систематичних методів щодо:

- обмінювання інформації та консультування протягом цього процесу;
- установлення оточення для ідентифікування, аналізування, оцінювання, оброблювання ризику, пов'язаного із будь-якою діяльністю, процесом, функцією чи продукцією;
- моніторингу та критичного аналізування ризиків;
- незалежного звітування про результати та їх протоколювання.

Загальне оцінювання ризику має дати відповіді на такі основні питання:

- Що може статися й чому? (Ідентифікація ризику).
- Які можуть бути наслідки? (Аналіз наслідків).

- Якою є ймовірність виникнення їх у майбутньому?
- Чи є якісь чинники, що пом'якшують наслідки ризику або знижують ймовірність ризику?
- Чи є рівень ризику допустимим або прийнятним і чи треба його обробляти у подальшому?

Оцінка ризику полягає у визначенні ймовірності заподіяння шкоди персоналу та населенню, шкоди майну та навколишньому середовищу. Оцінка в ймовірності заподіяння шкоди персоналу та населенню полягає у визначенні індивідуального, колективного та соціального ризику його ураження.

Аналіз небезпеки та ризику аварій на об'єкті підвищеної небезпеки включає такі основні етапи:

1. постановка завдання аналізу небезпеки та оцінки ризику;
2. аналіз небезпеки та умов виникнення аварій;
3. оцінка ризику (ймовірності) виникнення аварій;
4. аналіз умов і оцінка ймовірності розвитку аварій;
5. визначення масштабів наслідків;
6. оцінка ймовірності наслідків аварій;
7. оцінка прийнятності ризику та прийняття рішень щодо зменшення ризику.

Концептуальна основа аналізу техногенного ризику може бути представлена у вигляді схеми, зображеної на рис. 3.1.

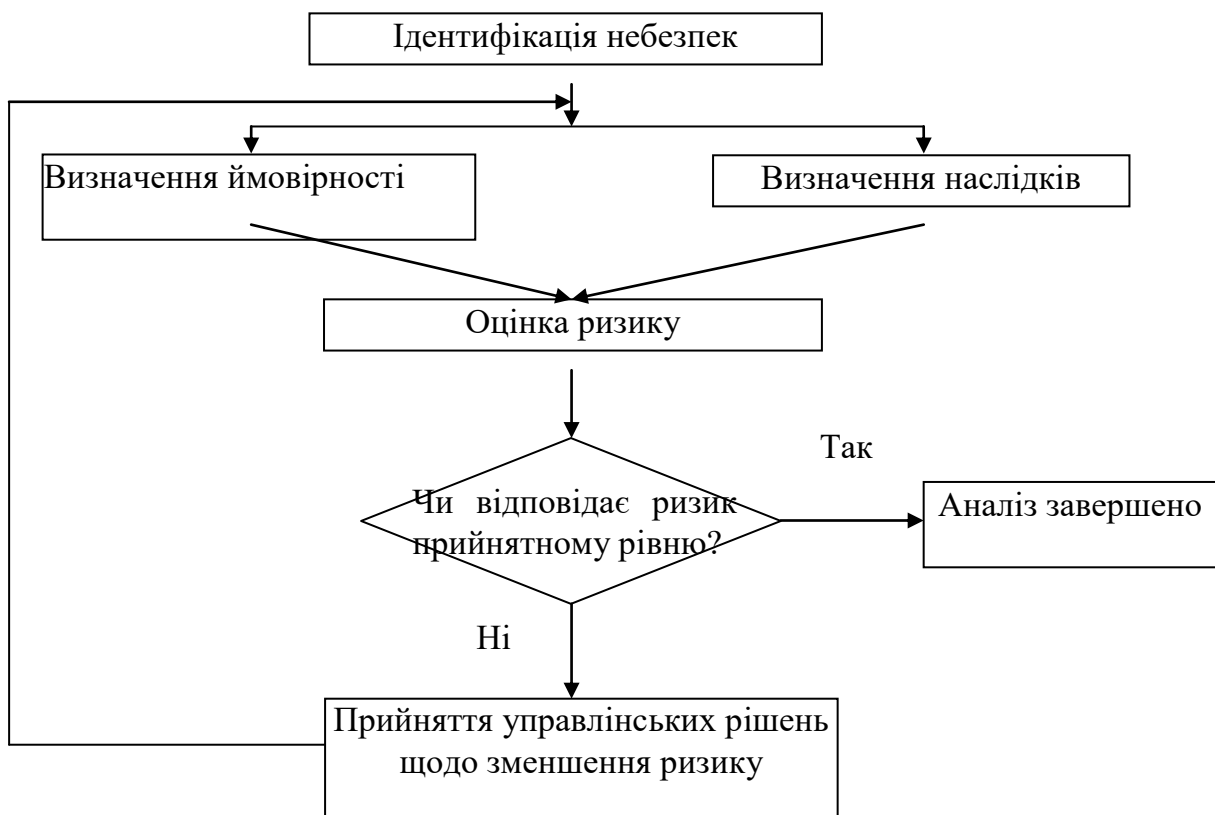


Рис. 3.1 – Схема аналізу техногенного ризику

Планування та організація робіт під час оцінки техногенного ризику

При плануванні та організації робіт рекомендується:

1. визначити аналізований об'єкт (або його складову частину) і дати його загальний опис, провести аналіз вимог нормативних та правових документів у галузі аналізу ризику аварій стосовно об'єкта, що розглядається;

2. обґрунтувати необхідність проведення аналізу небезпек та оцінки ризику аварій у разі відсутності нормативних вимог у цій галузі;

3. уточнити завдання аналізу ризику аварій, що проводиться, з урахуванням причин, які викликали необхідність проведення таких робіт (визначення та затвердження політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки, обґрунтування безпеки ОПН, розроблення звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки, обґрунтування проектних рішень щодо забезпечення безпеки, застосування нових технологій або матеріалів);

4. визначити методи аналізу ризику аварій, що використовуються, основні та додаткові показники ризику, ступінь їх детальності та обмеження прийнятного ризику аварії та (або) інші обґрунтовані показники безпечної експлуатації ОПН;

5. проаналізувати, вибрати та визначити значення фонових ризиків аварій та (або) відповідні критерії (досягнення) прийнятного ризику аварії та (або) інші обґрунтовані показники безпечної експлуатації ОПН.

Основна мета аналізу ризику аварій досягається постановкою та вирішенням відповідних задач залежно від необхідної повноти аналізу небезпек аварій, яка визначається умовами розробки політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки, спеціальних технічних умов, обґрунтування безпеки ОПН, звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки та інших документів, які використовують результати аналізу ризику аварії.

На стадії обґрунтування інвестицій, проектування, підготовки технічної документації чи розміщення ОПН рекомендується вирішувати такі завдання аналізу ризику аварій:

- проведення ідентифікації небезпек аварій та якісної та (або) кількісної оцінки ризику аварій з урахуванням впливу уражальних факторів аварії на персонал, населення, майно та навколишнє середовище;

- обґрунтування оптимальних варіантів застосування технічних та технологічних рішень, розміщення технічних пристроїв, будівель та споруд, складових частин та самого ОПН з урахуванням розташування прилеглих об'єктів виробничої та транспортної інфраструктури, особливостей навколишньої місцевості, а також територіальних зон (охоронних, санітарно-захисних, житлових, рекреаційних);

- використання відомостей про небезпеки аварій при розробці стандартів підприємства, інструкцій, технологічних регламентів та планів заходів щодо локалізації та ліквідації наслідків аварій на ОПН;

- визначення ступеня небезпеки аварій для вибору найбільш безпечних проектних рішень;

- обґрунтування, коригування та модернізація організаційних та технічних заходів безпеки;
- розробка обґрунтованих рекомендацій щодо зниження ризику аварій на ОПН та (або) його складових частинах.

На стадіях введення в експлуатацію, консервації чи ліквідації ОПН рекомендується вирішувати такі завдання аналізу ризику аварій:

- уточнення ідентифікації небезпек аварій з оцінкою ймовірності та можливих наслідків аварії, актуалізація отриманих раніше якісних чи кількісних оцінок ризику аварій;
- уточнення ступеня небезпеки аварій та оцінка достатності спеціальних заходів щодо зниження ризику аварій у перехідний період.

На стадіях експлуатації, реконструкції чи технічного переоснащення ОПН рекомендується вирішувати такі завдання щодо аналізу ризику аварій:

- уточнення та актуалізація даних про основні небезпеки аварій, у тому числі відомостей, поданих у звіті про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки, відомостей про оцінку максимальної можливої кількості потерпілих з метою страхування відповідальності; технічних даних та організаційної інформації щодо обстеження технічного стану об'єкта;
- визначення та контроль частоти та періодичності діагностування технічних пристроїв, будівель та споруд на ОПН, у тому числі методами неруйнівного контролю;
- проведення моніторингу ступеня аварійної небезпеки та оцінки ефективності заходів щодо зниження ризику аварій на ОПН, у тому числі для оцінки ефективності систем управління промисловою безпекою;
- розробка рекомендацій щодо забезпечення безпеки та, за необхідності, коригування заходів щодо зниження ризику аварій;
- вдосконалення інструкцій з експлуатації та технічного обслуговування, планів заходів щодо локалізації та ліквідації наслідків аварій на ОПН.

Ідентифікація небезпек

Основні завдання етапу ідентифікації небезпек – виявлення та чіткий опис усіх джерел небезпек та сценаріїв їх реалізації.

На етапі ідентифікації небезпек аварій рекомендується:

1. визначити джерела виникнення можливих подій та аварій, пов'язаних із руйнуванням споруд та (або) технічних пристроїв на ОПН, неконтрольованими викидами та (або) вибухами небезпечних речовин;
2. провести поділ ОПН на складові (складові ОПН) за необхідності проведення аналізу ризику аварій на них; виділити характерні причини виникнення аварій на ОПН чи його складових частинах;
3. визначити основні (типові) сценарії аварій з їхньою попередньою оцінкою та ранжуванням з урахуванням наслідків та ймовірності, при цьому розглянути ініціюючі та подальші події, що призводять до можливого виникнення уражальних факторів аварій.

На етапі ідентифікації небезпек можуть бути надані попередні рекомендації щодо зменшення небезпек аварій з оцінкою їхньої вичерпності або висновки про проведення детальнішого аналізу небезпек та оцінки ризику аварій.

Оцінка ризику

На етапі оцінки ризику аварій залежно від поставлених завдань можуть застосовуватися методи кількісної оцінки ризику аварій (які є пріоритетними), методи якісної оцінки ризику аварій або їх можливі поєднання (напівкількісна оцінка ризику аварій). Рекомендується послідовно здійснити якісну та (або) кількісну оцінку:

1. можливості виникнення та розвитку подій та аварій;
2. тяжкості наслідків та (або) шкоди від можливих подій та аварій;
3. небезпеки аварії та пов'язаної з нею загрози у значеннях показників ризику.

Для оцінки частоти ініціюючих та подальших подій в аналізованих сценаріях аварій рекомендується використовувати:

1. статистичні дані щодо аварійності, надійності технічних пристроїв та технологічних систем, що відповідають галузевій специфіці ОПН або виду виробничої діяльності;
2. логіко-графічні методи «Аналіз дерев подій», «Аналіз дерев відмов», імітаційні моделі виникнення аварій на ОПН;
3. експертні спеціальні знання в галузі аварійності та травматизму на ОПН у різних галузях промисловості, енергетики та транспорту.

Оцінка наслідків та збитків від можливих аварій включає опис та визначення розмірів можливих впливів на людей, майно та (або) довкілля. При цьому оцінюють фізичні ефекти аварійних подій (руйнування технічних пристроїв, будівель, споруд, пожеж, вибухів, викидів токсичних речовин); уточнюють об'єкти, які можуть зазнати впливу уражальних факторів аварій; використовують відповідні моделі аварійних процесів спільно з критеріями ураження людини та груп людей, а також критерії руйнування технічних пристроїв, будівель та споруд.

Результати оцінки ризику аварій можуть містити якісні та (або) кількісні характеристики основних небезпек виникнення, розвитку та наслідків аварій, при цьому рекомендується проводити аналіз невизначеності та достовірності отриманих результатів, у тому числі впливу вихідних даних на показники ризику, що розраховуються.

У певних випадках, залежно від поставлених завдань, аналіз ризику аварій може вичерпуватися лише отриманням окремих показників ризику на ОПН та (або) його складових частинах.

З метою порівняння та повноти оцінки небезпеки серед усієї різноманітності розглянутих сценаріїв рекомендується навести результати розрахунку для сценаріїв:

- аварій з найбільш важкими наслідками – як найбільш несприятливого варіанту розвитку аварії (як правило, найменш ймовірного) та найбільш небезпечного за наслідками аварійного впливу. Такі сценарії характеризують-

ся, наприклад, повним руйнуванням одиначної ємності або резервуару (або групи резервуарів) з максимальним викидом небезпечної речовини, несвоєчасними діями персоналу з локалізації аварії та несприятливими топографічними та метеорологічними умовами для поширення небезпечних речовин;

- найбільш ймовірних (типових) аварій – варіантів розвитку аварії з менш тяжкими наслідками, але ймовірнішими умовами розвитку аварії, і навіть тих сценаріїв аварій, які найповніше характеризують наявні небезпеки та специфіку об'єкта. Такі сценарії пов'язані, наприклад, з частковим руйнуванням ємнісного обладнання або трубопроводів з витоком небезпечних речовин з отворів діаметром від 10 до 30 мм, з викидом і розповсюдженням небезпечних речовин за метеорологічних умов, найбільш ймовірних для даної місцевості.

Встановлення ступеня небезпеки аварій на ОПН

На етапі встановлення ступеня небезпеки аварій на ОПН рекомендується проводити порівняння значень отриманих показників небезпеки та оцінок ризику аварії з:

- прийнятним ризиком аварії та (або) рівнем, обґрунтованим на етапі планування та організації аналізу ризику аварій;
- значеннями ризику аварії в інших складових частинах ОПН;
- фоновим ризиком аварії для даного типу ОПН або аналогічних ОПН, з фоновим ризиком загибелі людей у техногенних НС;
- значеннями ризику аварії, отриманими з урахуванням фактичних відступів від вимог промислової безпеки та можливого та фактичного впровадження компенсуючих заходів.

Встановлення ступеня небезпеки аварій на ОПН та визначення найбільш небезпечних складових частин ОПН рекомендується використовувати для розробки обґрунтованих рекомендацій щодо зниження ризику аварії на ОПН, які можуть мати організаційний та (або) технічний характер.

Питання для самоконтролю

1. Які основні компоненти характеризують ризик?
2. Пояснити поняття «фактор небезпеки».
3. Навести приклади небезпечних факторів.
4. Навести приклади факторів, що впливають на ймовірність виникнення пожежі.
5. Навести приклади факторів, що впливають на величину втрат від пожежі.
6. Навести визначення поняття «індивідуальний ризик».
7. Навести визначення поняття «територіальний ризик».
8. Навести визначення поняття «соціальний ризик».

9. Навести значення неприйнятних рівнів для індивідуального, територіального та соціального ризиків.

10. На які основні питання має дати відповіді загальне оцінювання ризику?

11. Назвати основні етапи аналізу небезпеки та ризику аварій на об'єкті підвищеної небезпеки.

12. Навести основні завдання етапу ідентифікації небезпек.

13. Які питання досліджуються у процесі оцінки ризику аварії?

14. Що розглядається під час встановлення ступеня небезпеки аварії?

Рекомендована література

1. ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.

2. Стиценко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є. Стиценко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.

3. Артемчук, В. О., Каменева, І. П., Яцишин, А. В., & Яцишин, Т. М. (2018). Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. Моделювання та інформаційні технології, (83), 48-62.

4. Соболь, О. М., Кравців, С. Я., & Коссе, А. Г. (2017). Ризик-орієнтований підхід у державному регулюванні у сфері техногенної та пожежної безпеки.

5. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека» / В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.

ЛЕКЦІЯ 4. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ РИЗИКУ ТА ІМОВІРНОСТІ

План

1. Методи загального оцінювання ризику.
2. Імовірність. Поняття та визначення.
3. Методи розрахунку імовірності.

4.1 Методи загального оцінювання ризику

Для аналізу і кількісної 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, прийнятного для усіх випадків не існує.

Настанови щодо вибирання та застосування систематичних методів загального оцінювання ризику наведено у ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.

4.1.1 Вибирання 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 розглянутих ситуації чи організації;
- він має забезпечувати отримання результатів у формі, яка уможливує 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.

4.1.2 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, щоб 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, щоб вона була анонімною, даючи змогу уникати персональних або політичних 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 за-

думу внаслідок недосконалості проекту, складників, запланованих процедур і дій персоналу.

Дослідження HAZOP зазвичай проводять на стадії докладного проектування, коли є повна схема передбачуваного процесу, але ще може бути внесено зміни до проекту. Однак його можна проводити 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 проектного об'єкта. Вхідні дані можуть охоплювати: кресленики, документи технічних вимог, технологічні карти, логічні діаграми і блок-схеми керування процесом, компоувальні 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 досліджуванням 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 випливають 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 проекту 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 оброблення ризиків;
- уможливорює генерування рішень і дій щодо оброблення 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:

а. 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;

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

с. 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;

д. обговорення координують запитаннями, у формулюванні яких використано фразу типу «що - якщо» і навідне слово чи тему. Варіанти використуваних 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;

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

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

i. 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 обробляння.

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 відхилення, а не просто дослідити наслідки відмови окремих складників;
- можна використовувати для визначення можливостей щодо поліпшування 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 обробляння 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 FMESA 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 FMESA можна отримати вхідні дані для інших методів аналізування, наприклад, аналізування дерева відмов як на якісному, так і на кількісному рівні.

Для FMEA і FMESA 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;
- c. 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:

**(Ймовірність наслідку відмови) * (Інтенсивність виду відмови)
*(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 забезпечення;
- 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 багатопараметричних систем.

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

4.2 Імовірність. Поняття та визначення

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*.

Довірча ймовірність – ймовірність накриття довірчим інтервалом істинного значення параметра. Довжина довірчого інтервалу пропорційна величині довірчої ймовірності. Найбільш вживані стандартні значення довірчої ймовірності наступні: $P = 0.9; 0.95; 0.99; 0.999$.

4.3 Методи розрахунку імовірності

4.3.1 Операції над подіями

На практиці визначення ймовірності безпосередньо є складною задачею. Насамперед це пов’язано з тим, що не для кожного досліду можна побу-

дувати ймовірнісний простір елементарних подій. З елементарних подій можна побудувати складніші. Отже, можна вести мову про алгебру подій, тобто про правила оперування з подіями. Для теорії ймовірностей ці правила важливі не самі по собі, а з огляду на те, що на них ґрунтуються методи визначення ймовірностей одних подій через ймовірності інших. Ці методи зводяться до застосування основних теорем теорії ймовірностей: теорем додавання ймовірностей і множення ймовірностей.

Алгебричні операції над подіями можна звести до операцій над множинами. Для цього простір елементарних подій Ω ототожнюють з універсальною множиною, а події інтерпретують як деякі підмножини цього простору. Якщо події розглядати як підмножини деякої множини елементарних подій, то відношення між подіями можна тлумачити як відношення між множинами, і нескладно ввести поняття (по суті, означення) суми та добутку подій.

Сумою (об'єднанням) двох подій A і B (рис. 1 а) називають подію C , яка полягає в появі принаймні однієї з цих подій, тобто подія C полягає в настанні або події A , або події B , або обох цих подій водночас. Суму подій позначають

$$C = A + B, \text{ або } C = A \cup B.$$

Добутком (перерізом, суміщенням) двох подій A і B (рис. 1 б, в) називають подію C , яка полягає в настанні і події A , і події B . Добуток подій позначають

$$C = A \cdot B, \text{ або } C = A \cap B.$$

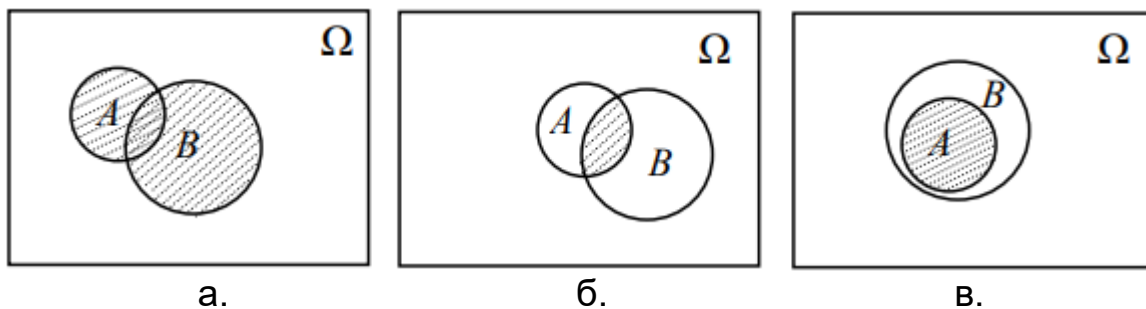


Рис. 1 – Геометрична ілюстрація операцій над подіями

Очевидно, якщо події A і B несумісні, то їхній добуток – неможлива подія: $A \cap B = \emptyset$.

Добутком кількох подій A_1, A_2, \dots, A_m називають подію A , яка полягає у спільній появі цих подій.

Події й операції над ними ілюструють геометрично. Так, якщо, подія A – потрапляння точки в область A , подія B – потрапляння точки в область B , то подія $A + B$ – це потрапляння точки в заштриховану область, що зображена

на рис. 1.1. а). Добуток подій A і B , очевидно, зобразиться як область суміщення областей A і B (рис. 1.1, б), в)).

4.3.2 Теорема додавання і множення ймовірностей.

Умовна ймовірність

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

Теорема 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

$$q_1 = 1 - p_1, q_2 = 1 - p_2, \dots, q_n = 1 - p_n.$$

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

$$P(A) = 1 - q_1 q_2 \dots q_n, \text{ або } P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n q_n, \text{ або } P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_n). \quad (8)$$

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

Питання для самоконтролю

1. Наведіть основні методи, що використовуються для оцінки ризиків.
2. Наведіть вимоги до придатності методу, що використовуються під час його вибору.
3. На які чинники необхідно звертати увагу під час загального оцінювання ризику?
4. Які основні ресурси та можливості можуть впливати на вибір методів загального оцінювання ризику?
5. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «мозкова атака».
6. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «метод HAZOP».
7. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «структурований метод «Що - якщо» (SWIFT)».
8. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування видів і наслідків відмов (FMEA) і аналізування видів, наслідків і критичності відмов (FMCA)».
9. Дайте визначення понять «ймовірність», «подія», «дискретний простір».
10. Поясніть поняття «Суми (об'єднання) двох подій A і B».
11. Поясніть поняття «Добутку (перерізу, суміщення) двох подій A і B».
12. Дайте визначення теорем додавання ймовірностей.
13. Поясніть поняття «Умовна ймовірність».
14. Дайте визначення теореми множення ймовірностей.
15. Дайте визначення теореми імовірності настання принаймні однієї події.

Рекомендована література

1. ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.
2. Березуцький В.В. , Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
3. ІЕС 61882 Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide.

4. IEC 60812 Analysis techniques for system reliability – Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA).
5. IEC 61025 Fault tree analysis (FTA).
6. IEC 60300-3-9 Dependability management — Part 3: Application guide — Section 9: Risk analysis of technological systems.
7. Васильків І.М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – 184 с.
8. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб./ О.І. Кушлик-Дивульська, Н.В. Поліщук, Б.П. Орел, П.І. Штабальок. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.

ЛЕКЦІЯ 5. РОЗПОДІЛИ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН ПРИ ОЦІНЦІ РИЗИКІВ

План

1. Дискретна випадкова величина при оцінці ризиків.
2. Числові характеристики випадкової величини.
3. Розподіли випадкових величин.

5.1 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. Прикладами випадкових величин є: кількість очок, яка може появитися при киданні гральної кості (випадкова величина може набути одного із шести значень 1, 2, 3, 4, 5, 6); кількість гербів, яка може появитися при киданні трьох монет (0, 1, 2, 3); час обслуговування клієнта в банку; відстань від центру мішені до точки влучання тощо.

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 надзвичайної ситуації 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 в даному районі 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 $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$:

Таблиця 5.1 – 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:

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

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. 5.1).

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:

$$p_k = F(x_k). \quad (2)$$

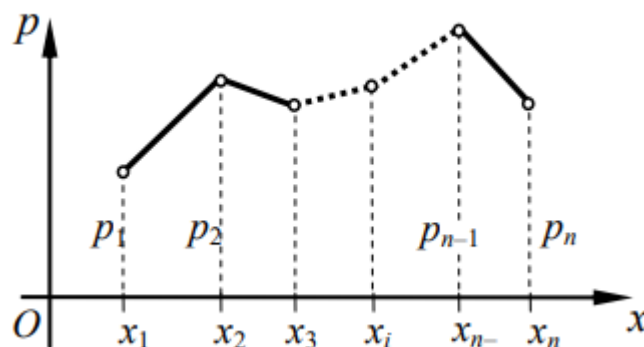


Рис. 5.1 – Багатокутник розподілу випадкової величини X

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

Імовірність потрапляння випадкової величини X в інтервал $[a, b]$ визначають як імовірність 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 імовірність того, що випадкова величина X набуде значення, меншого від певного фіксованого числа x і позначають як

$$F(x) = p(X < x) \text{ або } F(x) = p(-\infty < X < x). \quad (3)$$

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 $[a, b]$:

$$p(a < X < b) = F(b) - F(a). \quad (4)$$

Властивості функції розподілу

Властивість 1. Функція розподілу $F(x)$ набуває значень, що лежать на відрізку $[0; 1]$:

$$0 \leq F(x) \leq 1. \quad (5)$$

Ця властивість випливає з означення функції $F(x)$ як ймовірності того, що в результаті настання події справджується нерівність $X < x$.

Властивість 2. Функція розподілу випадкової величини є неспадною функцією:

$$\text{якщо } x_1 < x_2, \text{ то } F(x_1) \leq F(x_2). \quad (6)$$

Властивість 3. Функція розподілу неперервна зліва:

$$\lim_{x \rightarrow x_1 - 0} F(x) = F(x_1). \quad (7)$$

Властивість 4. Ймовірність того, що випадкова величина X потрапить у проміжок $[a, b]$, дорівнює приростові функції розподілу на цьому проміжку:

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

Властивість 5. Функція розподілу дорівнює нулеві на мінус нескінченності й одиниці на плюс нескінченності, тобто

$$F(-\infty) = 0, \quad F(+\infty) = 1. \quad (8)$$

Інтегральна функція розподілу придатна для опису як дискретних, так і неперервних випадкових величини. Однак на практиці неперервну випадкову величину зручніше характеризувати не інтегральною, а диференціальною функцією розподілу.

Функцію

$$f(x) = F'(x). \quad (9)$$

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. 5.2.

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

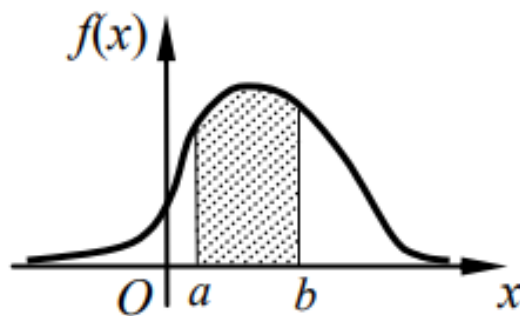


Рис. 5.2 – Крива диференціальної функції розподілу (щільність розподілу) випадкової величини X

Властивості диференціальної функції розподілу $f(x)$.

Властивість 1. Диференціальна функція розподілу є невід'ємною функцією:

$$f(x) \geq 0. \quad (10)$$

Властивість 2. Ймовірність того, що випадкова величина X потрапляє у проміжок $[a; b]$, дорівнює визначеному інтегралові від диференціальної функції, взятому в межах від a до b :

$$p(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx. \quad (11)$$

Геометрично ймовірність $p(a \leq X \leq b)$ чисельно дорівнює площі відповідної криволінійної трапеції (рис. 2).

Властивість 3. Зв'язок між інтегральною та диференціальною функціями розподілу описує формула:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx. \quad (12)$$

Властивість 4 (умова нормування щільності ймовірності). Невласний інтеграл від диференціальної функції розподілу ймовірностей, взятий у межах від $-\infty$ до $+\infty$, дорівнює одиниці:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1. \quad (13)$$

5.2 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

$$M(X) = \sum_k x_k p_k. \quad (14)$$

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

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx, \quad (15)$$

якщо цей інтеграл абсолютно збіжний.

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

$$M(X) = \int_a^b xf(x)dx, \quad (16)$$

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

Властивості математичного сподівання

Властивість 1. Математичне сподівання суми двох випадкових величин дорівнює сумі їхніх математичних сподівань:

$$M(X + Y) = M(X) + M(Y). \quad (17)$$

Властивість 2. Математичне сподівання добутку двох незалежних випадкових величин дорівнює добуткові їхніх математичних сподівань:

$$M(X \cdot Y) = M(X) \cdot M(Y). \quad (18)$$

Ці властивості поширюються на довільну скінченну кількість випадкових величин.

Властивість 3. Математичне сподівання сталої величини дорівнює самій сталій:

$$M(C) = C. \quad (19)$$

Властивість 4. Сталий множник можна виносити за знак математичного сподівання:

$$M(C \cdot X) = M(C) \cdot M(X) = C \cdot M(X). \quad (20)$$

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

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

Перш ніж перейти до визначення дисперсії, необхідно ввести поняття **відхилення**. **Відхиленням** $\overset{0}{X}$ називають різницю між випадковою величиною X та її математичним сподіванням m_X :

$$\overset{0}{X} = X - m_X. \quad (21)$$

Відхилення називають також *центрованою випадковою величиною*.

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

Дисперсією випадкової величини X називають математичне сподівання квадрата відхилення. Дисперсією випадкової величини X позначають $D(X)$, $\sigma^2(X)$ або σ_X^2 :

$$D(X) \equiv \sigma_X^2 = M((X - m_X)^2). \quad (22)$$

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

$$\sigma_X^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2 p_i. \quad (23)$$

$$\sigma_X^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x_i - m_X)^2 f(x) dx. \quad (24)$$

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 розсіяння випадкової величини використовують також величину, яка дорівнює квадратному кореневі з дисперсії – *середнє квадратичне відхилення випадкової величини*:

$$\sigma_X = \sqrt{D(X)}. \quad (25)$$

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

Властивості дисперсії випадкової величини

Властивість 1. Дисперсія суми двох випадкових величин дорівнює сумі їхніх дисперсій:

$$D(X + Y) = D(X) + D(Y). \quad (26)$$

Аналогічне співвідношення справедливе для довільної кількості взаємно незалежних випадкових величин.

Властивість 2. Дисперсія сталої величини дорівнює нулю:

$$D(C) = 0. \quad (27)$$

Властивість 3. Дисперсія добутку сталої на випадкову величину X дорівнює добуткові квадрата сталої на дисперсію величини X :

$$D(CX) = C^2 D(X). \quad (28)$$

Властивість 4. Якщо до випадкової величини додати сталу, то дисперсія залишиться незмінною:

$$D(C + X) = D(X). \quad (29)$$

Властивість 5. Дисперсія різниці двох незалежних випадкових величин дорівнює сумі їхніх дисперсій:

$$D(X - Y) = D(X) + D(Y). \quad (30)$$

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.

5.3 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 наступні 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:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b] \\ 0, & x \notin [a, b] \end{cases}. \quad (31)$$

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

$$P(x_1 < X < x_2) = \frac{x_2 - x_1}{b - a}, a \leq x_1 \leq x_2 \leq b, \quad (32)$$

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:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x - a}{b - a}, & x \in [a, b] \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (33)$$

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

Графіки щільності розподілу ймовірності і функції розподілу для рівномірного розподілу наведено на рис. 5.3.

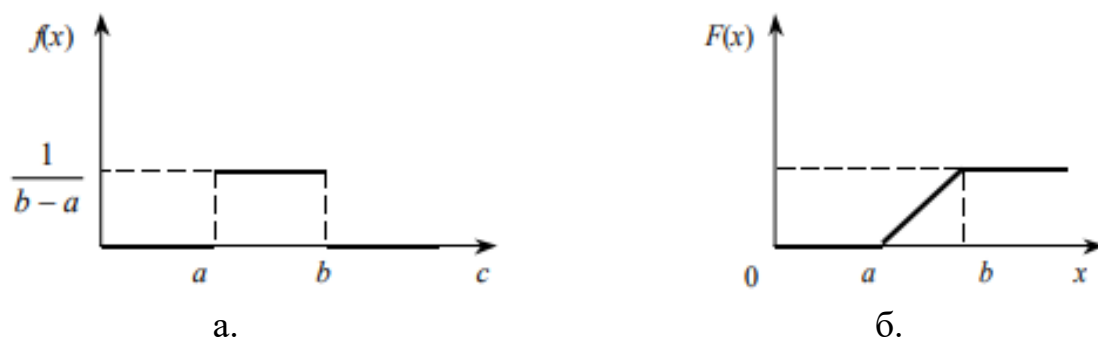


Рис. 5.3 – Щільність розподілу ймовірності (диференціальна функція розподілу випадкової величини) (а) і функції розподілу (б) для рівномірного розподілу

Нормальний закон розподілу (розподіл Гауса)

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

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (34)$$

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

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad (35)$$

тобто цей вираз є функцією Лапласа.

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

$$M(X) = a, D(X) = \sigma^2, \sigma(X) = \sigma, \quad (36)$$

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

$$P(\alpha < X < \beta) = \hat{O}\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right) - \hat{O}\left(\frac{\alpha - a}{\sigma}\right), \quad (37)$$

де $\hat{O}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функція Лапласа.

Інтегральна функція розподілу має вигляд

$$F(x) = \frac{1}{2} + \hat{O}\left(\frac{x - a}{\sigma}\right), \quad (38)$$

Графіки щільності розподілу ймовірностей та функції розподілу наведено відповідно на рис. 4а та рис. 4б.

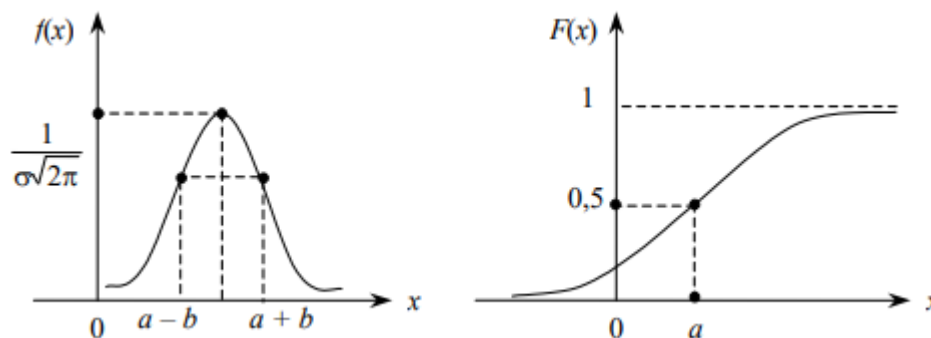


Рис. 5.4 – Щільність розподілу ймовірності (диференціальна функція розподілу випадкової величини) (а) і функції розподілу (б) для нормального розподілу

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

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2, \quad (39)$$

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

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \cdot \tilde{\Gamma}\left(\frac{k}{2}\right)} \cdot e^{-\frac{x}{2}} \cdot x^{\frac{k}{2}-1}, & x > 0, \end{cases} \quad (40)$$

де $\tilde{\Gamma}(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} dt$ – 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

$$f(z) = \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{k\pi} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \left(1 + \frac{z^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad -\infty < z < \infty, \quad (41)$$

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:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}, \quad (42)$$

де $\lambda > 0$ – параметр розподілу.

Якщо випадкова величина X має показниковий розподіл з параметром λ , тоді

$$M(X) = \frac{1}{\lambda}, \quad D(X) = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (43)$$

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

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}, \quad (44)$$

відповідно

$$P(a < X < b) = \begin{cases} e^{-a\lambda} - e^{-b\lambda}, & a \geq 0 \\ 1 - e^{-b\lambda}, & a < 0, b > 0 \\ 0, & b < 0 \end{cases}. \quad (45)$$

Графіки диференціальної та інтегральної функцій показникового розподілу зображено на рис. 5а та 5б відповідно.

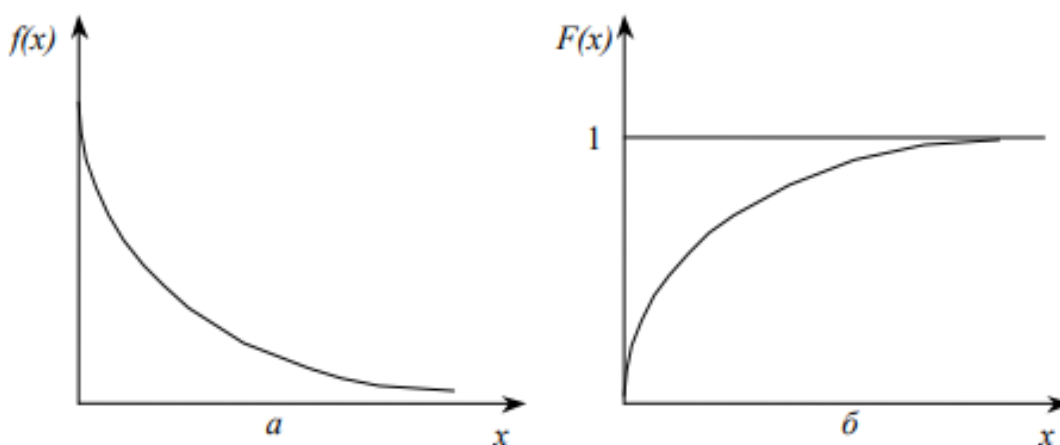


Рис. 5.5 – Диференціальна (а) та інтегральна (б) функції показникового розподілу

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

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

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

Ймовірність

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

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

Питання для самоконтролю

1. Наведіть визначення термінів «випадкова величина», «дискретна випадкова величина».
2. Наведіть приклади дискретних випадкових величини, що можуть використовуватися для визначенні ризику НС.
3. Що може слугувати джерелом інформації про дискретні випадкові величини при оцінці ризиків НС?
4. Розкрийте поняття «закону розподілу ймовірностей випадкової величини (розподіл ймовірностей випадкової величини)».
5. Навести способи, якими можна задати закони розподілу випадкової величини.
6. Наведіть визначення поняття «функція розподілу ймовірностей випадкової величини».
7. Наведіть визначення поняття «диференціальна функція (диференціальний закон) розподілу випадкової величини».
8. Наведіть основні числові характеристики випадкової величини та дайте їх визначення.
9. Назвіть основні закони розподілу, що набули найбільшого поширення у теорії ймовірності.
10. Основні положення рівномірного закону розподілу.
11. Основні положення нормального закону розподілу (розподілу Гауса).
12. Основні положення розподілу « χ^2 ».
13. Основні положення розподілу Стюдента.
14. Основні положення експоненціального (показникового) закону розподілу.

Рекомендована література

1. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб./ О.І. Кушлик-Дивульська, Н.В. Поліщук, Б.П. Орел, П.І. Штабальок. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.
2. Васильків І.М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – 184 с.
3. Математична статистика: збірник задач [Електронний ресурс]: навч.посіб.для студ.спец. 113 "Прикладна математика"/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: І.І. Нощенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,639 Мбайт). - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 90 с.
4. Теорія ймовірностей. Випадкові величини : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерний моніторинг та геометричне моделювання процесів і систем»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю.В. Сидоренко. – Електронні текстові дані (1 файл: 624 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 33 с.
5. Постанова КМ України №2030 від 26 грудня 2003 р. «Про затвердження Порядку обліку пожеж та їх наслідків».
6. Постанова КМ України №738 від 9 жовтня 2013 р. «Про затвердження Порядку ведення обліку надзвичайних ситуацій».

ЛЕКЦІЯ 6. НАДІЙНІСТЬ. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.

План

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

6.1 Надійність. Терміни та визначення

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 розра-

хунку 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.

6.2 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:

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

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. 6.1).

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 .

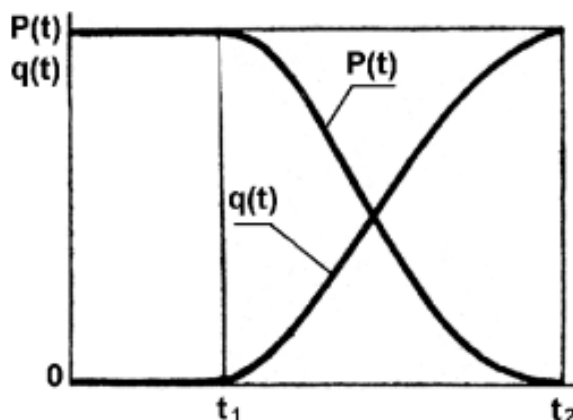


Рис. 6.1 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмов від часу

Ймовірність відмов пов'язана з ймовірністю безвідмовної роботи. Цей зв'язок отримав назву **загального закону надійності**: характер зміни ймовірності 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. 6.2), що має періоди.

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.

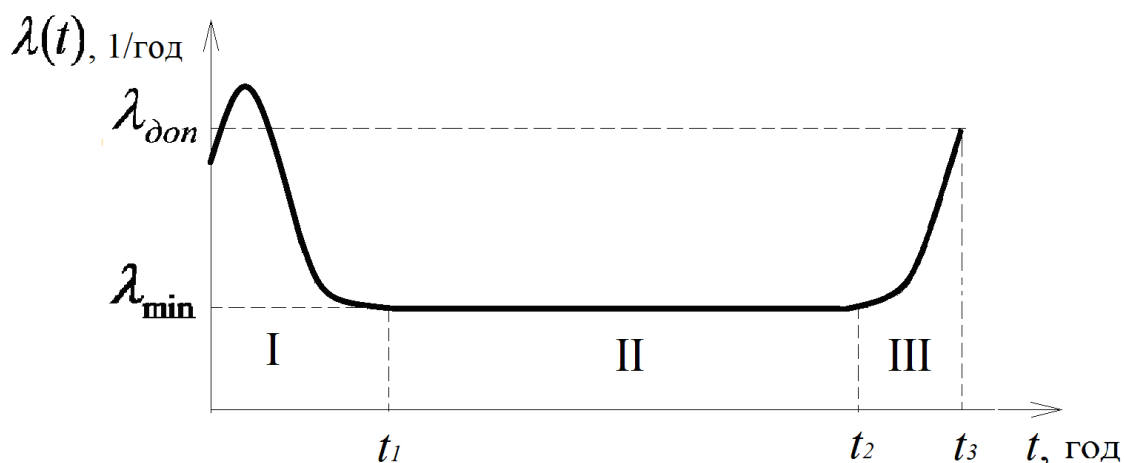


Рисунок 6.2 – Залежність інтенсивності відмов від часу

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

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 $\lambda_{\text{дон}}$.

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:

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

Тоді

$$p(t) = e^{-t/t_{cep}}. \quad (9)$$

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

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

де t_i – час безперервної роботи i -го виробу.

6.3 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:

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

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 $\lambda = \lambda(t) = const$.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається виразом:

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

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

$$t_{cp} = 1/\lambda. \quad (17)$$

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:

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

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

$$c = \frac{\sqrt{2/\pi}}{\sigma \left\{ 1 + \phi \left[t_o / \sigma \sqrt{2} \right] \right\}}. \quad (19)$$

6.4 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):

- послідовне (основне) з'єднання;
- паралельно навантажене з'єднання;
- комбіноване з'єднання елементів в системі.

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

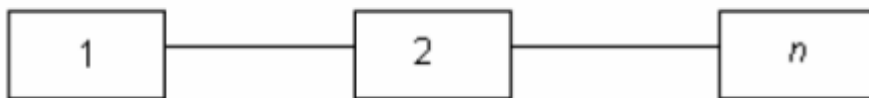


Рисунок 6.3 – Послідовне (основне) з'єднання елементів ТЗ

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

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

де n – число елементів ТЗ.

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

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

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

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

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

Відповідно середнє напрацювання ТЗ до відмови обчислюється за формулою:

$$T_{TЗcp} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{T_{cpj}}}, \quad (23)$$

де T_{cpj} – середнє напрацювання до відмови j -го елемента.

У загальному випадку вираз (21) може бути переписаний у вигляді:

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

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

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

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

Якщо всі елементи ТЗ рівнонадійні, то:

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

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

При розрахунку ймовірності БР високонадійних ТЗ добуток $\lambda_{TЗ} t \ll 1$, а $P_{TЗ}(t)$ близька до одиниці. Розклавши $e^{-\lambda_{TЗ} t}$ у ряд і обмежившись першими двома його членами, можна з високим ступенем точності визначити ймовір-

ність $P_{T_3}(t)$. В цьому випадку ймовірність $P_{T_3}(t)$ з послідовним з'єднанням елементів можна визначати за наближеною формулою:

$$P_{T_3}(t) = 1 - \lambda_{T_3} t. \quad (26)$$

Вираз (26) використовують у випадку, якщо $P(t) \geq 0,9$ або навпаки, коли $\lambda \cdot t \leq 0,1$.

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

$$P_{T_3}(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t) \approx 1 - \sum_{j=1}^n Q_j(t). \quad (27)$$

При рівнонадійних елементах ТЗ маємо:

$$P_{T_3}(t) = P_j^n(t) \cong 1 - nQ_j(t). \quad (28)$$

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. 6.4).

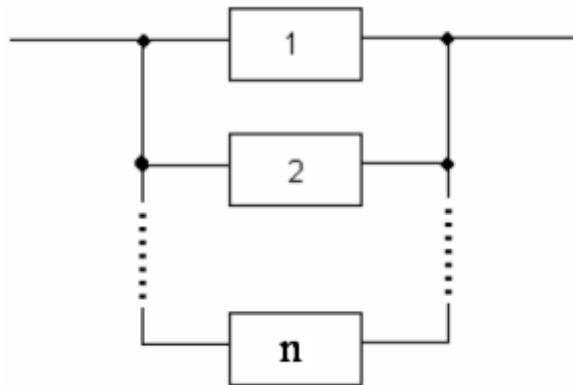


Рисунок 6.4 – Паралельне навантажене з'єднання

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

$$T_{T_3} \cong \max(T_j), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (29)$$

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

$$Q_{T_3}(t) = \prod_{j=1}^n Q_j(t), \quad (30)$$

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

Оскільки, $P_{T3}(t) = 1 - Q_{T3}(t)$, то:

$$P_{T3}(t) = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_j(t)). \quad (31)$$

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

Питання для самоконтролю

1. Наведіть визначення терміну «надійність».
2. Наведіть основні визначення, що застосовуються в теорії надійності.
3. Наведіть види відмов та надайте їх коротку характеристику.
4. Наведіть визначення терміну «ймовірність безвідмовної роботи», «відмова».
5. Наведіть визначення терміну «відмова», «інтенсивність відмов».
6. Дайте визначення загального закону надійності та вираз, що його описує.
7. Охарактеризуйте періоди на кривій інтенсивності відмов.
8. Навести основні закони розподілу випадкових величин, що використовуються в теорії надійності.
9. Дайте коротку характеристику закону Вейбула.
10. Дайте коротку характеристику експоненціального закону.
11. Дайте коротку характеристику нормального закону (розподілу Гауса).
12. Дайте коротку характеристику логарифмічного нормального закону.
13. Навести основні етапи розрахунку надійності.
14. Навести основні аналітичні вирази, що характеризують послідовне (основне) з'єднання елементів ТЗ.
15. Навести основні аналітичні вирази, що характеризують паралельно навантажене з'єднання елементів ТЗ.

Рекомендована література

1. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
2. Надійність технологічних систем : курс лекцій / Г. О. Іванов, В. І. Гавриш, П. М. Полянський, О. В. Гольдшмідт. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 40 с.
3. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / В.А Пашинський: – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 154 с.

4. Абракітов В. Е. Курс лекцій «Надійність технічних систем і техногенний ризик» (для студентів 4 курсу денної форми навчання галузь знань 1702 «Цивільна безпека» за напрямом підготовки 6.170202 «Охорона праці») / В. Е. Абракітов; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 66 с.

5. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб./ О.І. Кушлик-Дивульська, Н.В. Поліщук, Б.П. Орел, П.І. Штабальок. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.

6. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.

7. ДСТУ 8647:2016 Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов.

8. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.

ЛЕКЦІЯ 7. ОСНОВНІ ФАКТОРИ РИЗИКУ. ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕБЕЗПЕК

План

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

7.1 Порядок встановлення вимог до безпечності промислових підприємств

Загальні положення та вимоги до нормування та забезпечення безпечності промислових об'єктів установлює ДСТУ 3273-95. «**Безпека 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:

- в розробці принципів, критеріїв та умов, які враховують світовий досвід та вимоги чинних нормативних документів;
- у виданні нормативних документів з безпеки та якості робіт на всіх стадіях та етапах циклу існування підприємства;

- у здійсненні державної експертизи;
- у наданні дозволу або ліцензій на всі види діяльності, визначені державними нормативними документами з безпеки;
- в інспектуванні проведення робіт на відповідність наданим ліцензіям;
- 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 окремий, так і сукупний збиток для різних реципієнтів від впливу окремих факторів, зокрема і транс-кордонний 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

7.2 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 прийнятності 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 ас-

пектів 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 оброблення 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 ідентифікування.

За характером походження небезпеки бувають:

- природного характеру (стихійні лиха, захворюваність людей, заразні хвороби тварин та рослин тощо);
- техногенного характеру (транспортні аварії, пожежі, неспровоковані вибухи, аварії з викидом небезпечних хімічних і радіоактивних речовин тощо);
- соціально-політичні небезпеки (політичні небезпеки: тероризм, збройні конфлікти, війни та інші);
- соціальні небезпеки: злочинність, алкоголізм, тютюнопаління, наркоманія та інші);
- 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:

- надмірний 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 уламку, 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 ВВП 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.

7.3 Ідентифікування небезпек та ризику

Згідно ДСТУ ІЕС/ISO 31010 **ідентифікування ризику** – це процес виявлення, усвідомлення та реєстрування ризиків.

Призначення ідентифікування 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 ідентифікування 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 ідентифікування 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 ідентифікування ризику, можна використовувати різноманітні допоміжні методи, зокрема «мозкову атаку» та метод Делфі.

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

Основні завдання етапу ідентифікування 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.

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. 7.1.

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;

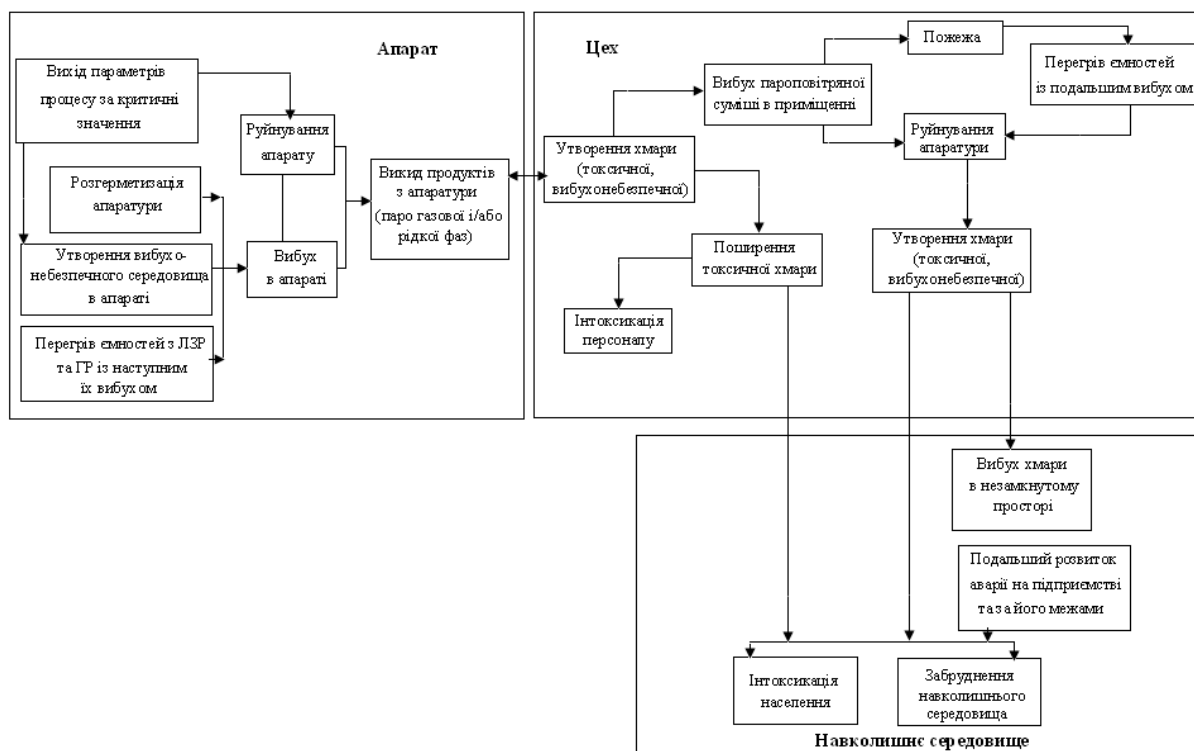


Рисунок 7.1 – Схема виникнення та розвитку аварійної ситуації

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.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть основні чинники, що впливають на диференціацію підприємств за умовами безпечності.

2. У чому полягає державне регулювання безпечності промислових підприємств?
3. На які групи поділяються показники безпечності та чим іони характеризуються?
4. Дайте коротку характеристику поняття «загальне оцінювання ризику».
5. Наведіть класифікацію небезпек за характером походження.
6. Якими видами аварій найчастіше характеризуються небезпеки техногенного характеру?
7. Наведіть основні фактори негативного впливу НС на людину та навколишнє середовище.
8. Наведіть небезпечні фактори вибуху вибухонебезпечних предметів.
9. Наведіть визначення поняття «небезпечний чинник».
10. Наведіть основні небезпечні чинники впливу фізичної дії НС.
11. Наведіть визначення поняття «ідентифікування ризику».
12. Для чого призначено ідентифікування ризику?
13. Навести загальний опис методів ідентифікування ризику.
14. Основні завдання етапу ідентифікування небезпек.
15. Що є результатом ідентифікування небезпек?
16. Наведіть коротку характеристику стадій розвитку НС.

Рекомендована література

1. ДСТУ 3273-95. Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.
2. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Жартовський В.М., Найверт А.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. – Тернопіль: Астон, 2006. – 424 с.
3. Кодекс цивільного захисту України (Закон Верховної Ради України від 02.10.2012 № 5403-VI).
4. ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.
5. 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. Режим доступу: <https://journals.uran.ua/itssi/article/view/271062>.
6. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять.
7. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
8. Гіроль М.М., Нинник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: Підручник. – Рівне: УДУВГП, 2004. – 452 с.

ЛЕКЦІЯ 8. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПОЖЕЖІ

План

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

8.1 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 тілця втрачають здатність забезпечувати організм людини киснем через створення карбоксігемоглобіну.

Небезпека диму пов'язана із втратою видимості через задимлення, що створює загрозу під час евакуування 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 характеристики просторового розподілу процесів теплопередачі користуються поняттям *поверхневої густини теплового потоку* (або *питомим тепловим потоком*, або *тепловим навантаженням*). *Густина теплового потоку* – вектор, будь-який компонент якого чисельно дорівнює кількості теплоти, переданої в одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярної до напрямку взятого компонента. Позначається лат. літерою q , вимірюється у $\text{кВт}/\text{м}^2$ або $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Тотожним до наведених означень є поняття **інтенсивності теплового випромінювання ($\text{кВт}/\text{м}^2$)**, що використовується ДСТУ Б.В.1.1-36:2016.

Основним вражаючим чинником при пожежах 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. 8.1).

Таблиця 8.1 – Критичні значення інтенсивності теплового потоку та наслідки їх впливу на людину і деякі речовини та матеріали

$q_{кр}$, $\text{кВт}/\text{м}^2$	Час до появи	
	більшових відчуттів, с (події)	опіків II ступеня, с (хв.) (події)
1	2	3
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

Продовження таблиці 8.1

1	2	3
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. 8.2.

Таблиця 8.2 – 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
Торфобрикет	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. 8.3.

Таблиця 8.3 – 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	7,0
Опік 1 ступеня через 15-20 с	
Опік 2 ступеня через 30-40 с	
Нестерпний біль через 3-5 с	10,5
Опік 1 ступеня через 6-8 с	
Опік 2 ступеня через 12-16 с	

Критичні значення інтенсивності теплового потоку слід використовувати для оцінки можливих наслідків від пожеж у процесі загального оцінювання ризику.

8.2. 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 безпекою 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 – середньповерхнева 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 7. 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.

Таблиця 8.7 – 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	$E_f, \text{кВт/м}^2$					$M_v, \text{кВт/м}^2 \cdot \text{с}$
	$d = 10 \text{ м}$	$d = 20 \text{ м}$	$d = 30 \text{ м}$	$d = 40 \text{ м}$	$d = 50 \text{ м}$	
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 таку саму, як і для вогнищ пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно.

За відсутності даних величину E_f приймають 100 кВт/м^2 для ЗВГ, 40 кВт/м^2 – для нафто продуктів, 40 кВт/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, м^2 .

Обчислюють висоту полум'я H у метрах за формулою:

$$H = 42 \cdot d \left(\frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (3)$$

де M_v – питома масова швидкість вигорання палива, $\text{кВт/м}^2 \cdot \text{с}$;

ρ_n – густина навколишнього повітря, кг/м^3 ;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – 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:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right\} \right], \quad (5)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B - 1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}}\right) - \frac{(A - 1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}}\right) \right], \quad (6)$$

$$A = \frac{(h^2 + S^2 + 1)}{(2 \cdot S)}, \quad (7)$$

$$B = \frac{(1 + S^2)}{(2 \cdot S)}, \quad (8)$$

$$S = \frac{2 \cdot r}{d}, \quad (9)$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d}, \quad (10)$$

де r – відстань від геометричного центра розливу (від зовнішньої установки) до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу 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:

$$\psi = \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2\right)\right]. \quad (15)$$

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.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть первинні небезпечні чинники пожеж.
2. Що відносять до вторинних проявів небезпечних чинників пожежі?
3. Які варіанти розвитку пожежі беруть до уваги під час розрахунку інтенсивності теплового випромінювання?
4. Методика розрахунку інтенсивності теплового випромінювання горіння розливів ЛЗР та ГР або твердих горючих матеріалів.
5. Методика розрахунку інтенсивності теплового випромінювання горіння «вогняної кулі».

Рекомендована література

1. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.
2. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять.
3. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Освітньо-кваліфікаційний рівень – «магістр» / Укладач Н.І. Коровникова, О.М. Роянов, О.М. Григоренко. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 232 с.
4. Левчук К. О. Цивільний захист: навчальний посібник / К. О. Левчук, Р. Я. Романюк, А. О. Толок — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016 р. — С. 46-51.
5. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Жартовський В.М., Найверт А.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. – Тернопіль: Астон, 2006. – 424 с.
6. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.
7. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
8. Гіроль М.М., Нинник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: Підручник. – Рівне: УДУВГП, 2004. – 452 с.

ЛЕКЦІЯ 9. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ВИБУХУ

План

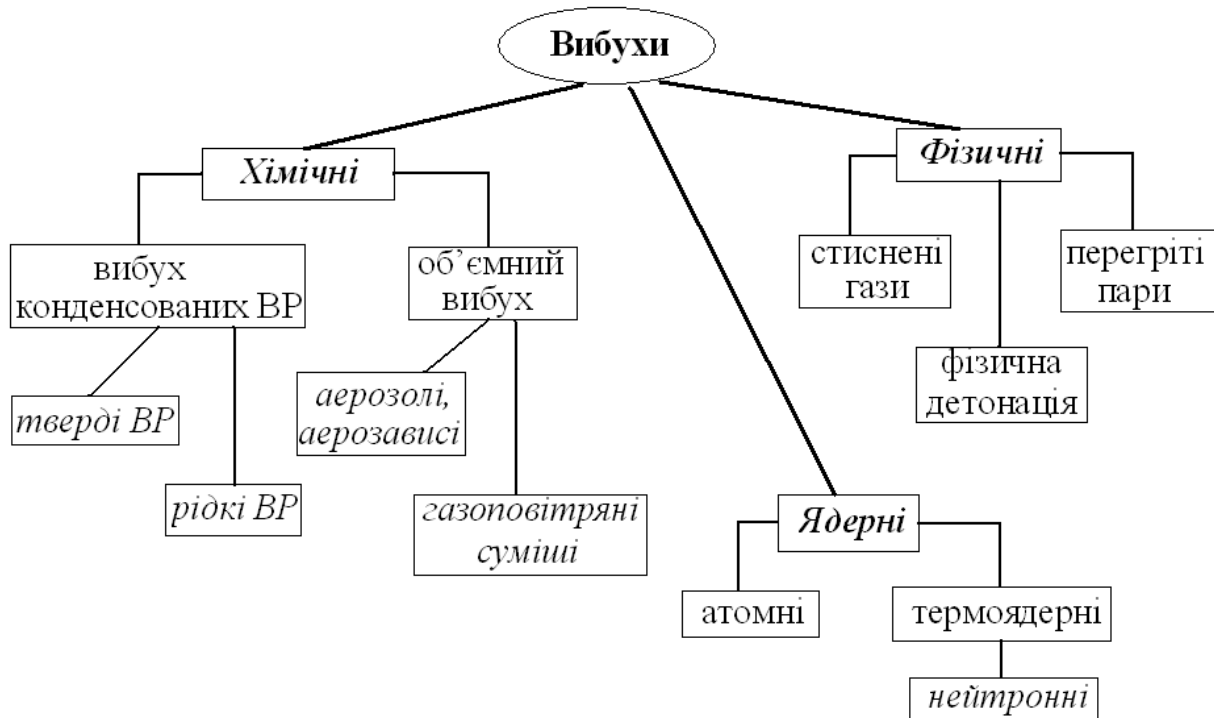
1. Небезпечні чинники вибухів.
2. Розрахунок небезпечних чинників вибуху.
3. Вибухи вибухонебезпечних предметів.

9.1 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, 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 фі-

зичними 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). Енергія згорання багатьох парогазових сумішей при об'ємному вибуху в багато разів перевершує енергію згорання 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 витоку 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, ширококовживані 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.

Розрізняють три зони дії вибуху:

Зона I – дія детонаційної хвилі. Для неї характерна інтенсивна дробляча дія, в результаті якої конструкції руйнуються на окремі фрагменти, розлітаються з великими швидкостями від центра вибуху.

Зона II – дія продуктів вибуху. У ній відбувається повне руйнування будинків і споруд під дією продуктів вибуху, що розширюються. На зовнішньому кордоні цієї зони утворюється ударна хвиля відривається від продуктів вибуху і рухається самостійно від центра вибуху. Вичерпавши свою енергію, продукти вибуху, розширившись до щільності, що відповідає атмосферному тиску, не спричиняють більше руйнівної дії.

Зона III – дія повітряної ударної хвилі. Ця зона включає три підзони:

IIIa – сильних руйнувань,

IIIб – середніх руйнувань,

IIIв – слабких руйнувань.

На зовнішній межі зони III ударна хвиля перетворюється на звукову, яку чути на значних відстанях.

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 кровеносних судин, барабанних перетинок, струс мозку, різні переломи і т.п. Крім того, швидкісний напір повітря може відкинути людини на значне відстань і заподіяти 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 умов 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.

Зони руйнувань при аваріях з вибухом на пожежовибухонебезпечних об'єктах прийнято оцінювати показниками, які можуть бути розділені на дві групи:

- показники, що безпосередньо характеризують інженерну обстановку;
- показники, що визначають об'єм аварійно-рятувальних робіт і життєзабезпечення населення.

При оперативному прогнозуванні можна виділити чотири зони руйнувань:

- 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).

Таблиця 9.1 – 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.

Таблиця 9.2 – 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 таблиці 9.3 наведено усереднені інтервали значень надлишкового тиску вибуху, що можуть викликати певну ступінь руйнування у залежності від типу будівель.

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. 9.4.

Таблиця 9.3 – 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 багатоповерхові	8–20	20–35	35–50	50–70
	8–15	15–30	30–45	45–60
Залізобетонні панельні: малоповерхові багатоповерхові	10–30	30–45	45–70	70–90
	8–25	25–40	40–60	60–80
Залізобетонні монолітні: багатоповерхові підвищеної поверховості	25–50	50–115	115–180	180–250
	25–45	45–105	105–170	170–215
Залізобетонні панельні із залізобетонним та металевим каркасами та крановим обладнанням вантажопідємністю, в тонах: до 50 від 50 до 100	5–30	30–45	45–75	75–120
	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

Таблиця 9.4 – 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

9.2 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 імовірність відмови системи автоматики не перевищує 10^{-6} на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с);

- 120 с, якщо імовірність 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

ку, що 1 л розчинів, що містять 70 % і менше (за масою) розчинників, розливається на площі 0,1 м², а інших рідин – на 0,15 м²;

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:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right), \quad (16)$$

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_{np} – приведена маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, кг.

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

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{зг}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z. \quad (17)$$

де $Q_{зг}$ – 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_g) і/або парів ЛЗР та ГР (m_n), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

Вираз (16) 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:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (18)$$

для будь-яких індивідуальних речовин, крім тих, що розраховуються за формулою (18), та сумішей:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{нов}} \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (19)$$

де P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші в замкнутому об'ємі, кПа;

P_0 – початковий тиск, кПа приймається рівним 101 кПа;

H_T – 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;

ρ_n – щільність газу чи парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кг/м³;

$$\rho_n = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367 \cdot t)}, \quad (20)$$

$C_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація парів циклогексану, % (об.), що визначається за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (21)$$

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

n_c, n_n, n_o, n_x – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ЛЗР.

$\rho_{\text{нов}}$ – густина повітря до вибуху за початкової температури T_0 , 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..

9.3 Вибухи вибухонебезпечних предметів

Збройна агресія російської федерації спричинила переоцінку у підходах до ідентифікування 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:

$$R_0 = 238 \cdot \sqrt[3]{q}, \quad (22)$$

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:

$$q = m \cdot K_{ef}, \quad (23)$$

де m – маса заряду вибухової речовини ВНП, кг;

K_{ef} – коефіцієнт ефективності вибухової речовини ВНП в порівнянні із зарядом тротилу тієї ж маси (значення наведені в таблиці 9.5);

Таблиця 9.5 – Значення коефіцієнта ефективності K_{ef} вибухової речовини

Найменування ВР	Тритонал 80/20	Суміш «В»	Тритонал 90/10 (циклотол)	Торпекс Н6	Ендатол	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, визначають за формулою:

$$\Delta P_{f(nov)} = 0,84 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 2,7 \frac{\sqrt[3]{q^2}}{R^2} + 7,0 \frac{q}{R^3}, \quad (24)$$

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 має вигляд:

$$\tau_{+(nov)} = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{q} \cdot \sqrt{R}, \quad (с), \quad (25)$$

Для узагальнених розрахунків з оцінки руйнуючої дії вибуху часто використовується такий показник як *питомий імпульс тиску* у фазі стиснення.

Для вибуху у повітрі заряду ВР питомих імпульс тиску у фазі стиснення може бути обчислений за формулою:

$$I_{nov} = 200 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R}, \quad (Па \cdot с), \quad (26)$$

Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі, що утворилася під час вибуху заряду на поверхні землі, визначають за формулою:

$$\Delta P_{f(z)} = 0,95 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 3,9 \frac{\sqrt[3]{q^2}}{R^2} + 13,0 \frac{q}{R^3}, \quad (27)$$

Під час вибуху на поверхні землі заряду ВР за нормальних атмосферних умов залежність тривалості фази стиснення у фронті ударної хвилі має вигляд:

$$\tau_{+(z)} = 1,46 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{q} \cdot \sqrt{R}, \quad (с), \quad (28)$$

Для вибуху на поверхні землі заряду ВР питомих імпульс тиску у фазі стиснення обчислюється за формулою:

$$I_z = 126 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R}, \quad (Па \cdot с), \quad (29)$$

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:

$$R_{zp} = k_p \cdot \sqrt[3]{q}, \text{ (м)}, \quad (30)$$

де q – тротиловий еквівалент заряду ВР, кг;

k_p – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту. Значення коефіцієнту k_p наведено у таблиці 6.

Максимальний тиск у фронті сейсмічної ударної хвилі P_{zp} (атм.) для більшості типів ґрунтів може бути представлено у вигляді загальної формули:

$$P_{zp} = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{R} \right)^n, \text{ (м)}, \quad (31)$$

де q – тротиловий еквівалент заряду ВР, кг;

Таблиця 6 – Значення коефіцієнту k_p для деяких типів середовищ

Середовище	k_p
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

A , n – коефіцієнти, що визначені експериментально. Коефіцієнти A , n залежать від щільності ґрунтів ρ_0 , масової вологості W , частки об'єму ґрунту, що зайняті повітрям та наведені у таблиці 7.

Параметри сейсмічної ударної хвилі а ведені у формулах (30) та (31) 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).

Таблиця 7 – Константи, що визначають залежність тиску від відстані у ґрунті

Ґрунт	ρ_0 , г/см ³	A	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

Питання для самоконтролю

1. Наведіть основні небезпечні чинники вибухів.
2. Класифікація вибухів.
3. Дайте визначення поняття «вибухонебезпечний предмет».
4. Дайте визначення поняття «вибухонебезпечна речовина».
5. Основні властивості вибухових речовин.
6. Назвати основні параметри, що визначають інтенсивність ударної хвилі.
7. Методи розрахунку небезпечних факторів вибуху. Нормативний документ.
8. Метод визначення надлишкового тиску вибуху під час згоряння сумішей горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР з повітрям у навколишньому просторі.
9. Метод визначення надлишкового тиску вибуху під час згоряння сумішей горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР з повітрям усередині приміщення.
10. Чим визначається небезпека вибухів вибухонебезпечних предметів?
11. Як визначається радіус розльоту осколків при підриві ВВП?
12. Як визначається надлишковий тиск у фронті повітряної ударної хвилі заряду вибухової речовини при підриві ВВП?
13. Як оцінюють дію сейсмічної ударної хвилі при підриві ВВП?

Рекомендована література

1. ДСТУ 4933:2008. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять.

2. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Освітньо-кваліфікаційний рівень – «магістр» / Укладач Н.І. Коровникова, О.М. Роянов, О.М. Григоренко. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 232 с.
3. Безпека зберігання вибухових речовин та боєприпасів. Навчальний посібник. / М.І. Адаменко, Ю.В. Квітковський, О.В. Гелета, В.О. Росоха, І.Б. Федюк / Під заг. ред. В.О. Росохи. – Харків, 2005. – 337 с.
4. Левчук К. О. Цивільний захист: навчальний посібник / К. О. Левчук, Р. Я. Романюк, А. О. Толлок — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016 р. — С. 46-51.
5. Стоєцький В.Ф., Дранишников Л.В., Жартовський В.М., Найверт А.В. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки. – Тернопіль: Астон, 2006. – 424 с.
6. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.
7. Захист населення і території від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека./За загальною редакцією В.В. Могильниченка. – К.:КІМ, 2007. – 636 с.
8. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
9. Гіроль М.М., Нинник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: Підручник. – Рівне: УДУВГП, 2004. – 452 с.
10. Барбашин В.В., Назаров О.О., Рютин В.В., Толкунов І.О. Основи організації піротехнічних робіт. Навчальний посібник / Під ред. В.П. Садкового. – Харків: ВРВД УЦЗУ, 2010. – 353 с.
11. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту.

ЛЕКЦІЯ 10. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ АВАРІЙ НА ОБ'ЄКТАХ З НАЯВНІСТЮ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

План

1. Хімічно небезпечні об'єкти, їх класифікація та характеристика.
2. Оцінка та прогнозування наслідків аварій.

10.1 Хімічно небезпечні об'єкти, їх класифікація та характеристика

10.1.1 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 вилливу (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 розлитої 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;

10.1.2 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 інші;

- 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, меркурані тощо.

за класом небезпеки (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* (сірково-

день, сульфатний ангідрид, азоту оксид тощо) мають здатність до сильної опікової дії, що значно ускладнює надання допомоги потерпілим. У разі високих концентрацій спостерігаються судом, 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. У разі 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.

10.1.3 Загальні положення Методики прогнозування наслідків вилливу (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 викидом (вилливом) НХР, застосовують методику довгострокового (оперативного) прогнозування.

10.2 Оцінка та прогнозування наслідків аварій

Згідно наказу МВС України від 29.11.2019 р. № 1000 «Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилливу (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_z (т) до найближчого значення типової маси НХР Q_T (т). Значення коефіцієнта пропорційності K_k залежить від величини співвідношення Q_z/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 (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 ізомермії: 0;
- для конвекції: $-0,1 \dots -0,2$;
- для інверсії: $0,1 \dots 0,2$;

Чисельні значення порогової токсодози PC_{t50} визначаються за формулою:

$$PC_{t50} = 14,4 \times ГДК \times K, \quad (5)$$

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

$$Q_2 = Q_1 - Q. \quad (9)$$

Час випаровування НХР τ (год.) з площі поверхні виливу визначається за формулою:

$$\tau = \frac{Q_2}{3600 \times E \times S_{np}}, \quad (10)$$

де E – питома швидкість випаровування ($\text{кг}/\text{м}^2 \times \text{с}$), та визначається за формулою ;

S_{np} – площа поверхні виливу НХР (м^2).

Площа поверхні виливу S_{np} визначається за формулою:

$$S_{np} = \frac{\pi \times d_{np}^2}{4}, \quad (11)$$

де d_{np} – приведений діаметр площі поверхні виливу НХР (м).

Приведений діаметр площі поверхні виливу НХР d_{np} (м) визначається за формулами:

за наявності піддона (обвалування):

$$d_{np} = 1,22 \times \sqrt{\frac{Q - Q_1}{\rho}}, \quad (12)$$

за відсутності піддона (обвалування):

$$d_{np} = 5,04 \times \sqrt{\frac{Q - Q_1}{\rho}}, \quad (13)$$

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 (10) 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:

$$d_{np} = \frac{1,22}{\sqrt{H}} \times \sqrt{\frac{Q - Q_1}{\rho}}, \quad (14)$$

де H – висота піддона (обвалування) (м).

Питома швидкість випаровування E ($\text{кг}/\text{м}^2 \times \text{с}$) визначається за формулою:

$$E = 0,041 \times \frac{u_1 \times M}{d_{np}^{0,14} \times T_e} \exp \left[\frac{\lambda \times M}{R} \times \left(\frac{1}{T_k} - \frac{1}{T_e} \right) \right], \quad (15)$$

де u_1 – швидкість повітря на висоті 1–10 м (м/с);

M – молекулярна маса НХР (г/моль);

d_{np} – приведений діаметр площі поверхні виливу НХР (м);

T_k – температура кипіння НХР (К);

T_e – температура випаровування НХР (К);

λ – питома теплота випаровування (кДж/кг);

R – універсальна газова стала, що дорівнює $8,31$ кДж/кмоль \times К.

Вплив місцевості на значення глибини поширення вторинної хмари НХР вираховується шляхом множення величини Γ_2 на коефіцієнт впливу місцевості K_m , що визначається так, як і у разі поширення первинної хмари НХР.

Площа первинної (вторинної) хмари НХР $S_{1(2)}$ (км²) 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 імовірністю P_Γ . Значення кута φ (град) залежно від ступеня вертикальної стійкості повітря в приземному шарі та довірчої імовірності P_Γ наведені в додатку 11 Методики. Зображення кута сектора наведено на Схемі поширення первинної та вторинної хмари НХР (рис. 1).

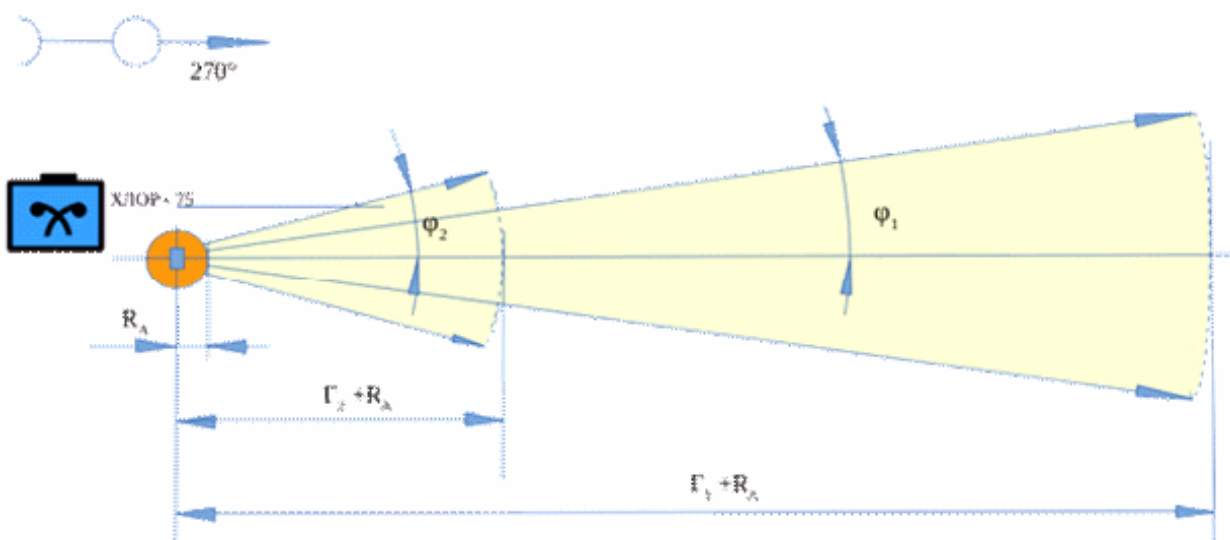


Рис. 1 – Схема поширення первинної та вторинної хмари НХР

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 (вилливу) 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 сектору поширення цих хмар $\varphi_{1(2)}$.

Якщо $\Gamma_1 < \Gamma_2$:

за умов $\varphi_1 < \varphi_2$:

$$S_{ПЗХЗ} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_2^2 - R_A^2) \times \varphi_2}{180} \right), \quad (17)$$

за умов $\varphi_2 < \varphi_1$:

$$S_{ПЗХЗ} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \times \varphi_1}{180} + \frac{(\Gamma_1^2 - \Gamma_2^2) \times \varphi_2}{180} \right), \quad (18)$$

Якщо $\Gamma_2 < \Gamma_1$:

за умов $\varphi_1 < \varphi_2$:

$$S_{ПЗХЗ} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_2^2 - R_A^2) \times \varphi_2}{180} + \frac{(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2) \times \varphi_1}{180} \right), \quad (19)$$

за умов $\varphi_2 < \varphi_1$:

$$S_{ПЗХЗ} = \pi \times \left(R_A^2 + \frac{(\Gamma_1^2 - R_A^2) \times \varphi_1}{180} \right), \quad (20)$$

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

$$B = \Delta \times S_{об.} \times (1 - K_3), \quad (22)$$

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 $\tau_{\text{вип}}$ (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:

$$t = \frac{X}{v}, \quad (25)$$

де X – відстань до об'єкта, км;

v – швидкість перенесення хмари повітряними потоками (км/год.).

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 РС₁₅₀».
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 небезпеки (ступенем впливу на організм людини).
16. Токсикологічна класифікація НХР за механізмом впливу на організм.
17. Яким нормативним документом затверджено Методику прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті.
18. Загальні положення Методики прогнозування наслідків виливу (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. Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки».
2. ДСТУ 4933:2008 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять.
3. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті (Наказ МВС України від 29.11.2019 № 1000).
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text>
4. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна безпека./За загальною редакцією В.В. Могильниченка. – К.: КІМ, 2007. – С. 37–70, 565–597.
5. Промислова безпека сучасних виробничих технологій: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Освітньо-кваліфікаційний рівень – «магістр» / Укладач Н.І. Коровникова, О.М. Роянов, О.М. Григоренко. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 232 с.

ЛЕКЦІЯ 11. ПОБУДОВА F–N І F–G ДІАГРАМ

План

1. Криві F–N та F–G.
2. Побудова F–N (F–G) діаграми.

11.1. Криві F–N та F–G

Оцінка ризику аварій з тяжкими наслідками передбачає як оцінку ймовірності, так і наслідків таких подій. Серед способів відображення ризиків криві ризику (F–N та F–G) є інструментами, які виражають частоту перевищення певної величини наслідків.

F–N криві – графічне зображення ймовірності подій, що спричинюють конкретний рівень шкоди для конкретної популяції. Найчастіше вони стосуються частоти заданої кількості нещасних випадків N, що виникають.

У випадку F–G кривих – графічно відображають ймовірності подій, що спричиняють певні матеріальні втрати. Універсальною одиницею виміру матеріальних втрат є грошова одиниця, проте, очевидно, що у випадку оцінки ризику надзвичайних ситуацій, матеріальні втрати можна представляти і в інших одиницях: площі пожежі, площі підтоплення чи забруднення, тривалості НС та ін.

F–N та F–G криві (діаграми), отримують за результатами обробки статистичних даних та експертних оцінок. Вони характеризують масштаб негативного потенціалу об'єкта. На підставі статистичних даних збирається інформація: кількість загиблих N, кількість подій, в яких загинуло N працівників, частота подій (кількість випадків за рік) F, в яких загинуло N працівників. За цими даними будується графік залежності F–N.

Очевидно, що чим інтенсивніше зменшується функція F(N) (F(G)), тим меншу соціальну небезпеку представляє об'єкт. Для типових об'єктів підвищеної небезпеки функція F(N) може бути апроксимована наступною залежністю:

$$\ln(F) = F_0 - \ln(N). \quad (1)$$

Соціальний ризик часто представляється графічно у вигляді кривої F–N – різновиду кривої ризику, яка відображає ймовірність N або більше смертельних випадків на рік як функцію N у подвійній логарифмічній шкалі. Крива F–N, спочатку введена для оцінки ризиків у ядерній промисловості через дослідження безпеки реакторів у США, проте на тепер використовується в різних країнах для вираження та обмеження ризиків небезпечної діяльності.

Соціальний ризик характеризує масштаб катастрофічності небезпек відповідно до виробництва. Наприклад: 10 смертельних випадків могли статися під час 5 аварій на підприємстві, у кожному з них могло бути по дві жертви, але 10 чоловік могло б загинути і під час однієї аварії на підприємстві. Соціальний ризик допомагає оцінити F–N діаграма (крива F–N) (рис. 11.1).

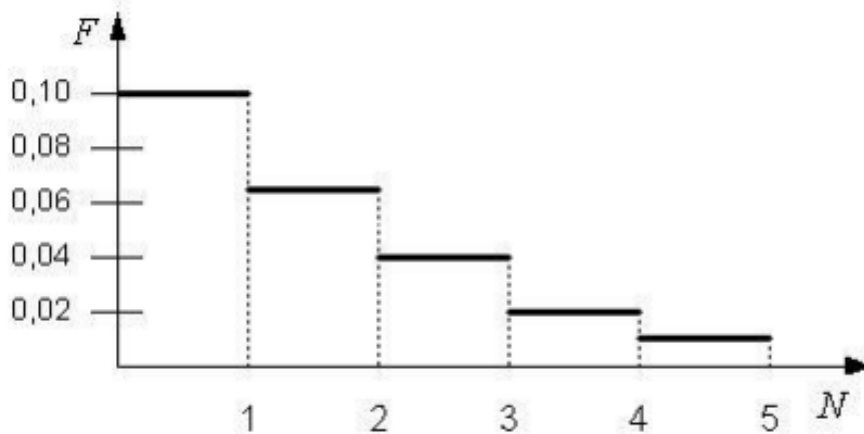


Рис. 11.1 – Крива F–N

Діаграму використовують для показу залежності частоти реалізації небезпеки від її масштабу (масштаб небезпеки – наприклад, кількість загиблих (F–N криві), або матеріальні втрати у випадку F–G кривих).

F–N (F–G) криві відображають частотно-наслідкові дані. Під час аналізу для оцінки суспільного ризику оцінюються різні гіпотетичні події. Кожна з цих подій матиме передбачувану річну частоту виникнення, F , і передбачувану кількість постраждалих людей, N , як правило, кількість смертельних випадків, пов'язаних із подією, чи матеріальні втрати G . Відповідна частота появи виражається в подіях на рік.

Згідно ДСТУ ІЕС/ISO 31010 криві F–N показують накопичену частоту (F), з якою N чи більше представників популяції зазнаватимуть впливу. Значний інтерес зумовлюють великі значення N , які можуть виникати з високою частотою F , оскільки вони можуть бути неприйнятними в суспільному та політичному відношенні.

Застосування кривих F–N.

Криві F–N – спосіб зображення результатів аналізування ризику. Багато подій мають високу ймовірність результатів з низькими наслідками й низьку ймовірність результатів з високими наслідками. Криві F–N уможливають зображення рівня ризику у формі лінії, яка описує скоріше цей діапазон, ніж окрему точку, що зображує одну пару – ймовірність-наслідок.

Криві F–N можна застосовувати для порівнювання ризиків, наприклад, для порівнювання прогнозованих ризиків з критеріями, поданими у формі кривої F–N, або для порівнювання прогнозованих ризиків з даними, зумовленими минулими випадками, або з критеріями прийняття рішень (що їх також подають у формі кривої F–N).

Криві F–N можна застосовувати під час проектуванні системи чи процесу, або для керуванні наявними системами.

Вхідними даними є будь-що з переліченого:

- сукупності пар «ймовірність-наслідок» за встановлений період часу;

- вихідні дані, отримані з кількісного аналізування ризику, що надає кількісно оцінені ймовірності для конкретних кількостей нещасних випадків;
- дані з уже наявних протоколів і кількісного аналізування ризику.

11.2 Побудова F-N (F-G) діаграми

За наявними даними будують графік, абсцисами точок якого є кількість нещасних випадків (рис. 1) (до конкретного рівня шкоди, наприклад смерті), а ординатами – ймовірності N нещасних випадків або більшої їх кількості. Через великий діапазон значень обидві осі, зазвичай, зображають у логарифмічному масштабі.

Криві F-N (F-G) можна будувати статистично, використовуючи «реальні» числові дані з минулих утрат, або їх можна обчислювати на основі оцінок імітаційної моделі. Використовувані дані та зроблені припущення можуть означати, що ці два типи кривої F-N (F-G) подають різну інформацію, отже, їх треба використовувати окремо та для різних цілей. Узагалі, теоретичні криві F-N (F-G) є найкориснішими для проектування системи, а статистичні криві F-N (F-G) – для керування конкретною наявною системою.

За обох підходів для побудови кривої може бути потрібним витратити багато часу, тому їх, зазвичай, не застосовують разом. Емпіричні дані, таким чином, утворюють фіксовані точки, що зображають точно відомі нещасні випадки внаслідок відомих аварій/випадків за конкретний період часу, а кількісне аналізування ризику дає змогу отримати інші точки за допомогою екстраполяції чи інтерполяції.

Якщо необхідно враховувати аварії з низькою частотою та високими наслідками, то може бути потрібним розглядати тривалі періоди часу з тим, щоб зібрати достатню кількість даних для належного аналізування. Це, своєю чергою, може ставити під сумнів наявні дані, якщо першопочаткові події змінювалися з плином часу.

Лінія, що зображує ризики в діапазоні значень наслідків, які можна порівнювати з критеріями, що відповідають досліджуваним критеріям та конкретному рівню шкоди.

Переваги подання інформації про ризики у форму F-N діаграм.

Криві F-N (F-G) – це корисний спосіб подання інформації про ризик, яку можуть використовувати керівний персонал і розробники системи, щоб сприяти прийняттю рішень стосовно ризиків і рівнів безпеки. Вони дають змогу подавати інформацію як про частоту, так і про наслідки у зручному для сприйняття форматі.

Криві F-N (F-G) уможливають порівнювання ризиків, зумовлених подібними ситуаціями, за наявності достатніх даних. Їх не треба використовувати для порівнювання ризиків різних типів з різноманітними характеристиками у випадках, коли кількість і якість даних змінюються.

Недоліком подання інформації про ризики у форму F-N (F-G) діаграм полягає у тому, що вони не надають жодної інформації про діапазон ефектів

або результатів випадків, крім відомостей про кількість осіб, підданих впливу; також неможливо ідентифікувати різні способи, у які може статися конкретний рівень шкоди. Вони відображають конкретний тип наслідку, зазвичай – шкоду людині. Криві подання інформації про ризики у форму F–N (F–G) діаграм – це не метод загального оцінювання ризику, а один із способів подання результатів загального оцінювання ризику.

Процес побудови статистичних кривих F–N (F–G) спирається на використання статистичних даних (реальних подій, що мали місце на досліджуваних об'єктах, їх ймовірностей та наслідків: N – кількості постраждалих чи загиблих, G – матеріальних втрат).

На першому етапі дані у вигляді сукупності пар «ймовірність-наслідок» за встановлений період часу зручно представляти у вигляді таблиці (табл. 11.1)

Таблиця 11.1 – Вихідні дані для побудови F–N діаграми (приклад)

НС	Імовірність НС (F)	Збиток (N)
		Смертність
1	$9,8 \times 10^{-6}$	1
2	$1,44 \times 10^{-5}$	7
3	$1,28 \times 10^{-5}$	2
4	$1,52 \times 10^{-5}$	3

На другому етапі дані у вигляді сукупності пар «ймовірність-наслідок» сортуються та ранжуються за показником наслідків (за кількістю постраждалих або за матеріальними втратами) (табл. 11.2) від максимального до мінімального значення.

Таблиця 11.2 – Вихідні дані для побудови F–N діаграми після ранжування (приклад)

НС	Імовірність НС (F)	Збиток (N)
		Смертність
2	$1,44 \times 10^{-6}$	7
4	$1,52 \times 10^{-5}$	3
3	$1,28 \times 10^{-5}$	2
1	$0,98 \times 10^{-5}$	1

На третьому етапі після ранжування розраховується кумулятивну частоту смертельних випадків протягом серії за певний період часу (накопичену суму ймовірностей).

Якщо результат цього процесу побудувати в залежності від кількості смертельних випадків у логарифмічному масштабі, графік буде складатися з кількох точок, до яких у більшості випадків можна провести пряму лінію на логарифмічному графіку з певним нахилом і перетином, який разом представляє природу цього набору даних. Побудова кривої F–N (рис. 11.2) є заключним, четвертим етапом у процесі побудови статистичних кривих F–N (F–G).

Таблиця 11.3 – Вихідні дані для побудови F–N діаграми після ранжування з урахуванням кумулятивної частоти смертельних випадків (приклад)

НС	Імовірність НС (F)	Збиток (N)	Σ ймовірностей
		Смертність	
2	$1,44 \times 10^{-6}$	7	$1,44 \times 10^{-5}$
4	$1,52 \times 10^{-5}$	3	$2,96 \times 10^{-5}$
3	$1,28 \times 10^{-5}$	2	$4,24 \times 10^{-5}$
1	$0,98 \times 10^{-5}$	1	$5,22 \times 10^{-5}$

Одиницею осі x і осі y на згенерованому графіку буде кількість втрат (у даному випадку – кількість смертельних випадків) і ймовірність F (1/рік) відповідно (рис. 11.2).

Криві F–G будуються за аналогічним принципом, тільки у парі «ймовірність-наслідок» показником наслідків є матеріальні втрати.

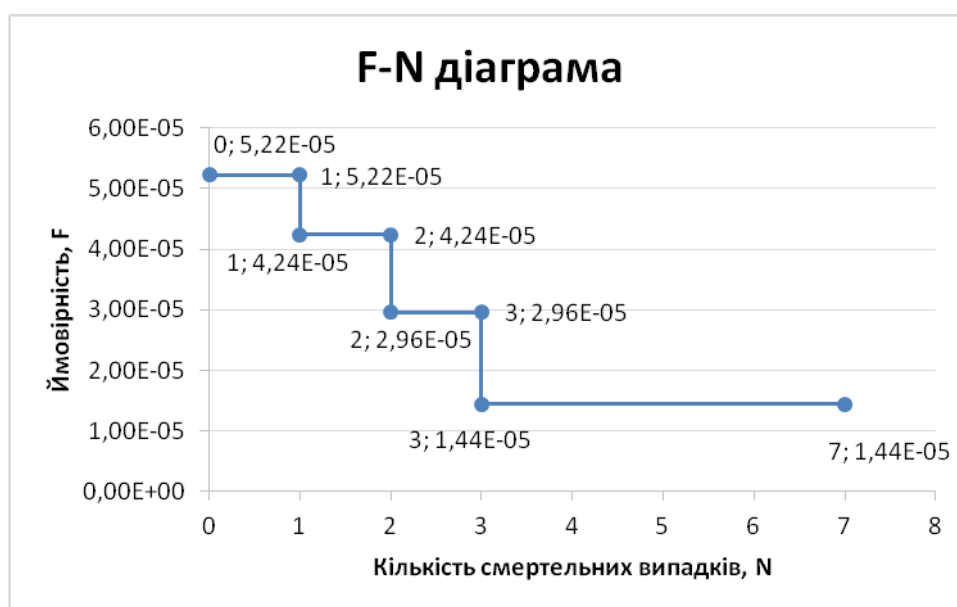


Рис. 11.2 – Крива F–N

Криві подання інформації про ризики у форму F–N (F–G) діаграм – визнаний метод подання результатів загального оцінювання ризику, але для його застосування необхідна відповідна підготовленість досвідчених аналітиків, і для неспеціалістів він часто буває важким щодо тлумачення та оцінювання.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть визначення поняття «F–N (F–G) крива (діаграма)».
2. Застосування кривих F–N (F–G).
3. Вхідні дані для побудови F–N (F–G) діаграм.
4. Підходи для побудови F–N (F–G) діаграм.
5. Переваги подання інформації про ризики у форму F–N діаграм.
6. Недоліки подання інформації про ризики у форму F–N (F–G) діаграм.
7. Описати етапи побудови статистичних кривих F–N (F–G)

Рекомендована література

1. ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком
Методи загального оцінювання ризику.

2. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник
для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В.
Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.

3. Vasconcelos, V. D., Soares, W. A., & Costa, A. C. L. D. (2015). FN-
curves: preliminary estimation of severe accident risks after Fukushima. Режим
доступу:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/017/47017692.pdf?r=1.

4. Mona K. Global Risk Assessment of Natural Disasters: new perspectives
/ Mona Khaleghy Rad. – Canada, 2014. – 208 p.

5. Григоренко О.М. Аналіз стану нормативної бази України з
розрахунку соціального ризику та вплив його параметрів на величину ризику
/ Ю.П. Ключка, О.М. Григоренко, В.О. Липовий // Проблеми надзвичайних
ситуацій. – 2017. – Випуск 25. – С. 57 – 62.

ЛЕКЦІЯ 12. ПОБУДОВА ДЕРЕВА ВІДМОВ, ДЕРЕВА ПОДІЙ

План

1. Аналізування дерева відмов (FTA) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.
2. Аналізування дерева подій (ETA) як метод аналізування та загального оцінювання ризику.

12.1 Аналізування дерева 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, організують логічно та подають графічно за допомогою деревоподібної діаграми (рис. 12.1), зображаючи причинні чинники та їхні логічні зв'язки з завершальною подією.

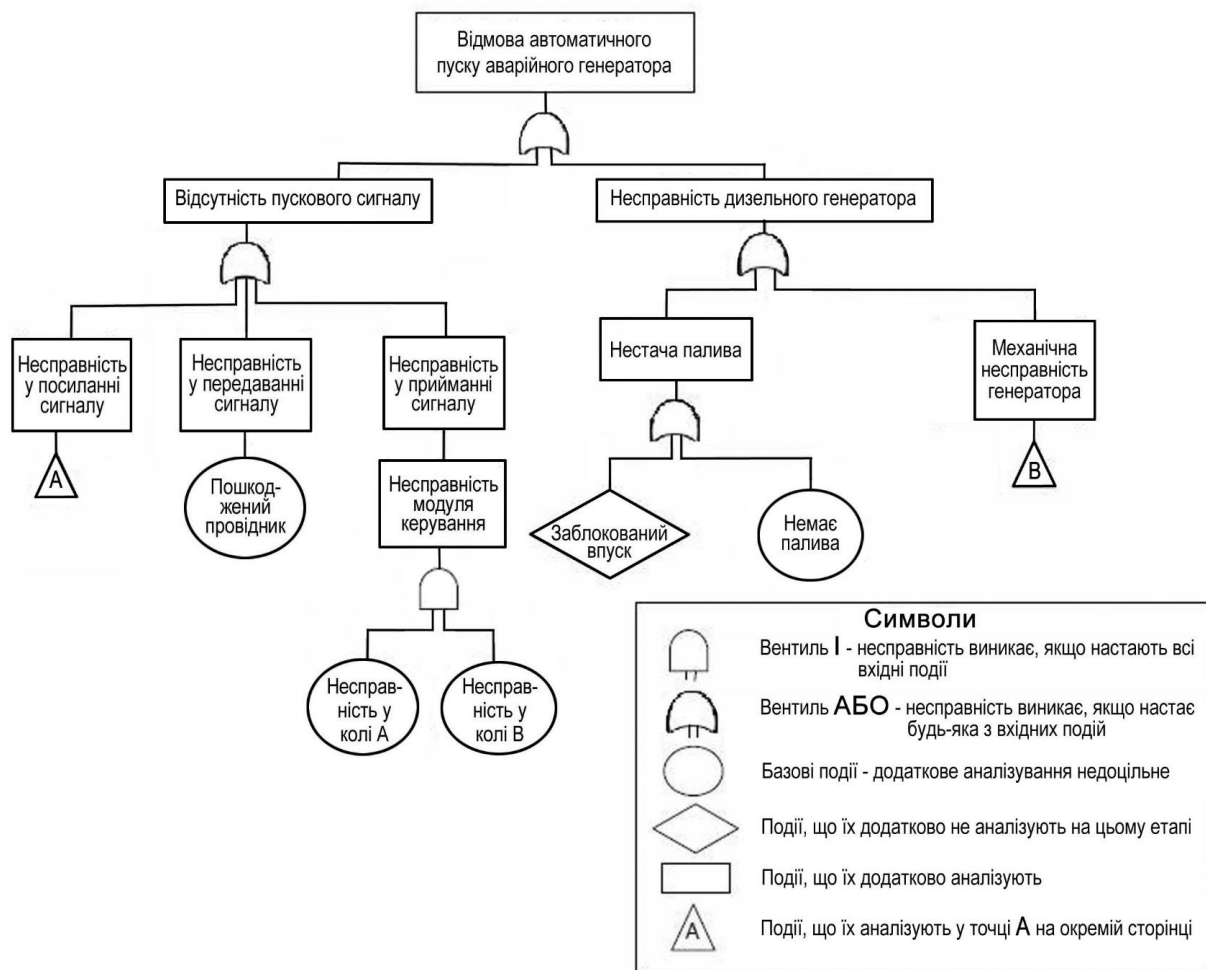


Рис. 12.1 – Приклад дерева відмов

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 відносну 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 відмов:

- 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 відмов 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 імовірністю (за наявності даних) настання кожної з них;
- імовірність завершальної події.

Переваги FTA:

- 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;
- FTA є особливо корисним для аналізування систем з багатьма сполученнями та взаємодіями;
- графічне зображення дає змогу легше зрозуміти поводження системи та її внутрішні чинники, але, оскільки деревоподібні схеми часто набувають великих розмірів, оброблення таких схем може потребувати застосування комп'ютерних систем. Ця функція уможливорює 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:

- до обчислень імовірності 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»:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(A_i)]. \quad (2)$$

де $P(A_i)$ – ймовірність події A_i .

12.2 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.

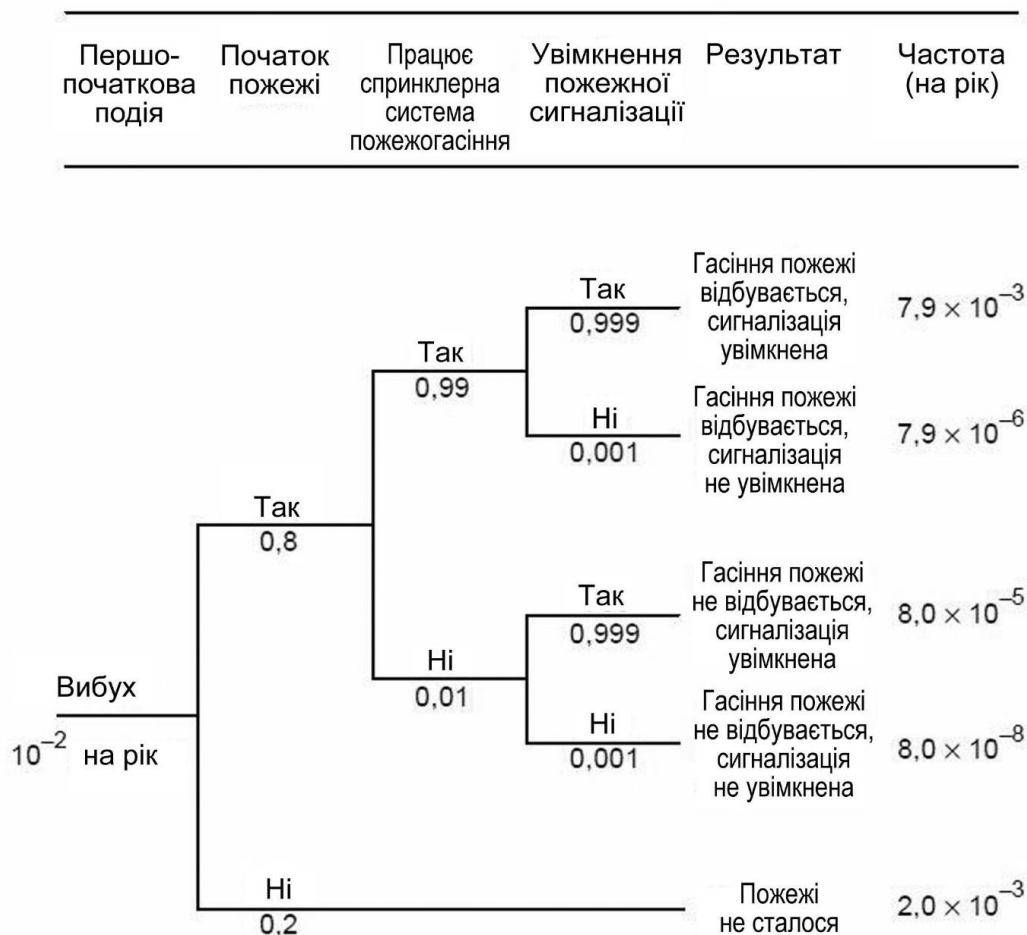


Рис.12. 2 – Приклад дерева подій

На рис. 12.2 показано прості обчислення для прикладу дерева подій, коли відгалуження цілком незалежні.

Розгортаючи події віялом як дерево, ЕТА дає можливість відображати погіршувальні чи пом'якшувальні події у відповідь на першопочаткову подію, урахувавши 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 про-

вадять 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 зменшення ризиків;
- кількісні оцінки результативності рекомендацій.

Переваги ЕТА:

- ЕТА уможлиблює 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:

- 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 неухважність, 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.

Питання для самоконтролю

1. Надайте короткий опис методу загального оцінювання ризику «аналізування дерева відмов (FTA)».
2. Охарактеризуйте поняття «завершальна подія».
3. Символи, що використовують при побудові дерева відмов.
4. Етапи розроблення дерев відмов.
5. Вихідні дані аналізування дерев відмов.
6. Переваги FTA.
7. Обмеженості при складанні дерева відмов.
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 ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.

2. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.

3. Тараненко С., Голубєва С. (2022). Використання «дерева відмов» як логіко-ймовірнісного методу аналізу суднових електродвигунів. *Транспортні системи і технології*. (40). 149-158.

4. Копей, Б. В., Копей, В. Б., Мартинець, О. Р., Стефанишин, О. І., Стефанишин, А. Б. (2013). Використання дерева відмов як методу структурного аналізу штангової насосної установки. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. (2). С. 62-71.

ЛЕКЦІЯ 13. ПОБУДОВА ПОЛІВ РИЗИКУ

План

1. Поняття полів ризику.
2. Побудова полів ризику.

13.1 Поняття полів ризику

Ризик загибелі людей внаслідок впливу небезпечних факторів надзвичайних ситуацій характеризується числовими значеннями індивідуального, територіального та соціального ризиків.

Визначення розрахункових величин ризиків на об'єкті здійснюється на підставі:

- аналізу потенційної техногенної небезпеки об'єкта;
- кількісної оцінки ймовірності реалізації небезпечних подій, що можуть мати місце на об'єкті;
- визначення параметрів небезпечних факторів надзвичайних ситуацій;
- оцінки наслідків впливу небезпечних факторів надзвичайних ситуацій на людей, будівлі, споруди та технологічне обладнання для різних сценаріїв розвитку НС;
- побудови полів ризику небезпечних факторів надзвичайної ситуації для різних сценаріїв;
- наявності систем забезпечення безпеки.

Під поняттям «**полів ризику**» слід розуміти просторовий розподіл на конкретній території ймовірності заподіяння шкоди від небезпечних чинників надзвичайної ситуації. Поле ризиків може бути побудоване як для візуалізації ризику загибелі людини на певній території від джерела НС, так і візуалізації ризиків матеріальних втрат (рис. 13.1).

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

- індивідуальний ризик – імовірність загибелі людини, що знаходиться в даному регіоні, від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки протягом року з урахуванням імовірності її перебування в зоні ураження;
- територіальний ризик – імовірність загибелі протягом року людини, яка знаходиться в конкретному місці простору, від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки;
- соціальний ризик – імовірність загибелі людей понад певну кількість (або очікувана кількість загиблих) у даному регіоні протягом року від можливих джерел небезпеки об'єкта підвищеної небезпеки, з урахуванням імовірності їх перебування в зоні ураження.

Очевидно, що ризик загибелі людини буде залежати як від частоти реалізації негативного впливу небезпечних чинників НС, їх просторового розпо-

ділу, так і від ймовірності перебування людини в конкретний час у конкретному місці простору.

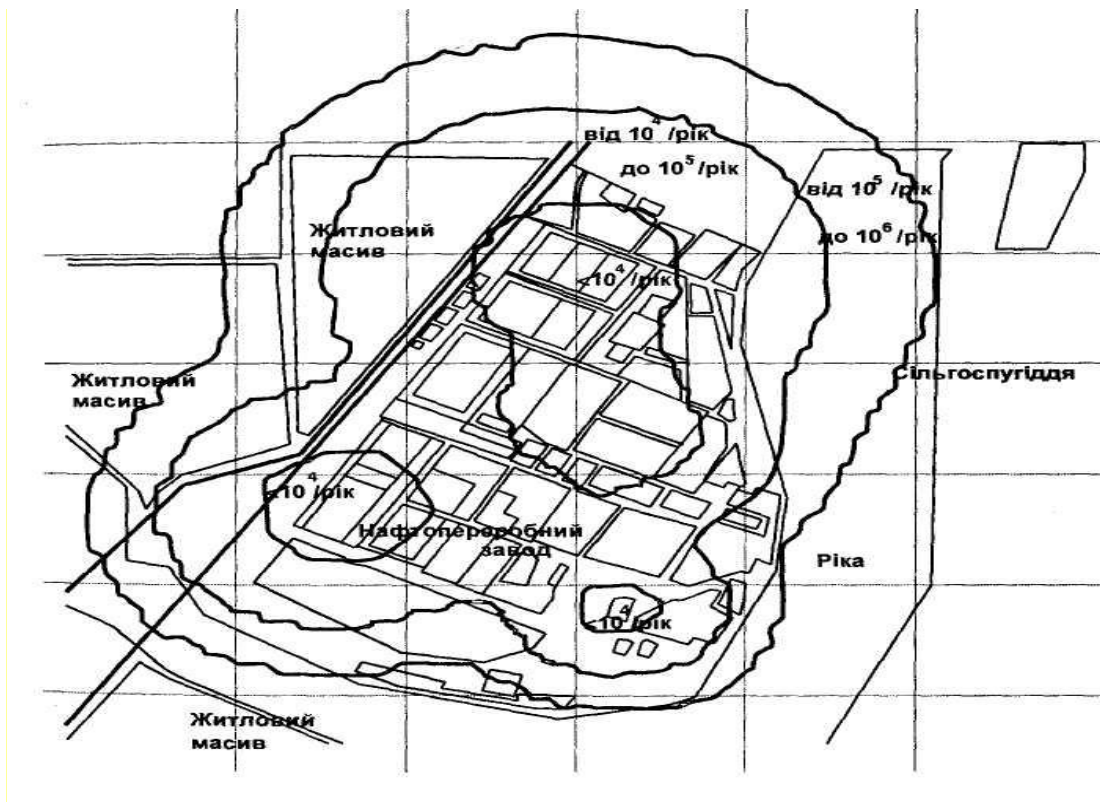


Рис. 13.1 – Поле ризику

Під час аналізу ризику визначаються різні сценарії аварій. Кожному сценарію аварії відповідає своя частота реалізації (ймовірність виникнення конкретної НС) (P , 1/рік) та ймовірнісна зона ураження ($S_j(x, y)$), яка розраховується виходячи з фізичних процесів розвитку НС та характеристики негативного впливу на людину чи інші суб'єкти впливу. Для отримання поля потенційного територіального ризику $R(x, y)$ проводиться підсумовування всіх ймовірнісних зон ураження з урахуванням частоти їх реалізації на певній території:

$$R(x, y) = \sum_1^j P_j \cdot S_j(x, y). \quad (1)$$

Для оцінки ризику необхідно побудувати розподіл персоналу або населення ($N(x, y)$) на території, що розглядається:

Цей розподіл відображає кількість суб'єктів впливу, що знаходяться в певному місці в середньому на рік. Тоді колективний ризик (F) визначається як:

$$F = \int_s N(x, y) \cdot R(x, y). \quad (2)$$

Для визначення середнього показника індивідуального ризику для суб'єктів впливу (N) із усіх суб'єктів слід виділити тільки ту частину (N_R), яка потрапляє у зону впливу небезпечних чинників НС.

$$N_R = \int_S N(x, y) \cdot \epsilon R(x, y) > 0. \quad (3)$$

Середній індивідуальний ризик оцінюється як

$$R_i = \frac{F}{N_R}. \quad (4)$$

Крім показника середнього індивідуального ризику, знаючи $N(x, y)$ та $R(x, y)$, можна побудувати розподіл суб'єктів впливу за рівнями ризику ($N(R)$). Ця інформація є важливою для оцінки кількості суб'єктів, що знаходяться під високим рівнем ризику. Крім того, необхідно зважати на те, що розподіл суб'єктів на території може бути дуже нерівномірним і з цієї причини, за певних обставин, усі суб'єкти можуть бути розбиті на групи у залежності від їхнього місцезнаходження, зважаючи на територіальну чи виробничу специфіку. Для кожного територіального розподілу $N_R(x, y)$ груп суб'єктів можна визначити показники індивідуального ризику R_i .

Показники соціального ризику визначаються виходячи з частоти реалізації (P , 1/год.) і ймовірнісної зони ураження ($S_j(x, y)$) для кожного сценарію аварії з урахуванням розподілу суб'єктів $N(x, y)$ на території, що розглядається. Кількість постраждалих (N) за конкретного сценарію аварії розраховується за формулою:

$$N_n = \int_S N(x, y) \cdot S(x, y). \quad (5)$$

а частота цієї події є P . Розрахувавши кількість постраждалих для усіх можливих сценаріїв розвитку НС (j), можна побудувати F-N діаграму.

13.2 Побудова полів ризику

Для побудови полів ризику необхідно виконати ряд послідовних етапів:

Перший етап: визначаються джерела небезпечних впливів. Ними можуть бути: промислове обладнання, ємності з небезпечними речовинами (небезпечними хімічними речовинами, горючими чи легкозаймистими рідинами, газами та ін.), трубопроводи та апарати під тиском, ємності з перегрітими рідинами чи газами тощо.

Другий етап: оцінюється ймовірність виникнення НС (P).

Для визначення ймовірності виникнення НС (P) на об'єкті може бути використана наступна інформація:

- про відмови обладнання, що використовується на об'єкті;
- про параметри надійності устаткування, що використовується на об'єкті;
- про помилкові дії працівників об'єкта;
- про гідрометеорологічну обстановку та географічні особливості місцевості в районі розміщення об'єкта (у випадку, якщо розглядається ймовірність виникнення НС техногенного характеру внаслідок природних чинників).

Для визначення ймовірності виникнення НС можуть використовуватися статистичні дані щодо аварійності або розрахункові дані щодо надійності технологічного обладнання, що відповідають специфіці об'єкта, що розглядається.

Інформація про ймовірність виникнення НС (у тому числі, що виникли внаслідок помилкових дій персоналу), необхідна для оцінки ризику, може бути отримана безпосередньо з даних про функціонування об'єкта, що досліджується, або з даних про функціонування інших подібних об'єктів.

Третій етап: встановлюється фізична модель, відповідно до якої відбувається поширення руйнівного небезпечного фактора надзвичайної ситуації – сценарію виникнення та розвитку аварії.

Для визначення можливих сценаріїв виникнення та розвитку аварії рекомендується використовувати метод аналізування **дерева подій (ЕТА)** (дерево подій).

Сценарій виникнення та розвитку аварійної ситуації (аварії) на дереві подій відображається у вигляді послідовності подій від вихідної до кінцевої події (гілки дерева подій).

При побудові **дерева подій (ЕТА)** використовуються:

- умовна ймовірність реалізації різних гілок дерева подій та переходу аварійної ситуації чи аварії на ту чи іншу стадію розвитку;
- ймовірність ефективного спрацьовування відповідних засобів запобігання або локалізації аварійної ситуації або аварії (приймається виходячи із статистичних даних або за паспортними даними заводу-виробника обладнання);
- ймовірність ураження розташованого в зоні аварії технологічного обладнання та будівель об'єкта внаслідок впливу на них небезпечних чинників.

Четвертий етап: обчислюються форма і розміри зон, у яких параметри небезпечних чинників надзвичайної ситуації – температура, інтенсивність теплового випромінювання, надлишковий тиск або концентрація небезпечних хімічних речовин – матимуть значення у певному діапазоні. Кожному виділеному діапазону буде відповідати свій ступінь ураження.

При побудові полів ризиків для різних сценаріїв розвитку НС враховуються:

- теплове випромінювання при факельному горінні, горінні пожеж розливів горючих речовин на поверхню та вогняних кулях;
- надлишковий тиск вибуху та імпульс хвилі тиску при згоранні газопароповітряної суміші у відкритому просторі;
- надлишковий тиск вибуху та імпульс хвилі тиску при розриві апаратів (резервуарів) внаслідок впливу на нього полум'я;
- надлишковий тиск вибуху при згорянні газопароповітряної (пилоповітряної) суміші у приміщенні;
- концентрація токсичних компонентів продуктів горіння у приміщенні;
- зниження концентрації кисню у повітрі приміщення;
- задимлення атмосфери приміщення;
- середньооб'ємна температура у приміщенні;
- уламки, що утворюються під час вибухового руйнування елементів технологічного обладнання;
- продукти згорання, що розширюються при реалізації пожежі-спалаху;
- концентрація небезпечних хімічних речовин первинної та вторинної хмар при аварії з викидом (вилівом) НХР.

Оцінка величин небезпечних чинників НС проводиться з урахуванням аналізу фізичних явищ, які відбуваються при аварійних ситуаціях, що передують НС. При цьому розглядаються такі процеси, що виникають при реалізації аварійних ситуацій та аварій або є їх наслідками (залежно від типу обладнання та властивостей речовин, що обертаються на об'єкті):

- витікання рідини з отвору;
- витікання газу з отвору;
- двофазне витікання з отвору;
- розтікання рідини під час руйнування обладнання;
- викид газу під час руйнування обладнання;
- формування зон загазованості;
- згорання газопароповітряної суміші у відкритому просторі;
- руйнування апаратів з перегрітою легкозаймистою рідиною, горючою рідиною або зрідженим горючим газом;
- теплове випромінювання від пожежі розливу або вогняної кулі;
- реалізація пожежі-спалаху;
- утворення та розліт уламків при руйнуванні елементів технологічного обладнання;
- випаровування рідини з проливу;
- утворення газопароповітряної хмари (гази та пари важчі за повітря);
- згорання газопароповітряної суміші у технологічному обладнанні чи приміщенні;
- пожежу у приміщенні;

- факельне горіння струменя рідини та/або газу;
- теплове випромінювання обладнання, що горить;
- закипання і викид рідини, що горить при пожежі в резервуарі;
- витікання та випаровування НХР, що має температуру кипіння нижчу, ніж температура поверхні, на яку відбувається розлив;
- поширення первинної та вторинної хмар при аварії з викидом (вилівом) НХР.

Також, у разі потреби, розглядаються інші процеси, які можуть мати місце при виникненні аварійних ситуацій та аварій.

Оцінка небезпечних чинників НС здійснюється за допомогою методів та методик, що розглядалися у попередніх лекціях, проте наведений їх перелік не є вичерпним.

П'ятий етап: розраховані зони впливу небезпечних чинників надзвичайної ситуації накладаються на карту місцевості, де відображені об'єкти – джерела небезпеки та об'єкти, на які впливають небезпечні чинники НС від цих джерел небезпеки. Межі зон впливу мають вигляд замкнутих концентричних кривих, вкладених одна в одну. У центрі кривих знаходяться джерела небезпечних впливів (рис. 13.2).

Знання параметрів та часу впливу всередині кожного з полів ризику дозволяє надалі з урахуванням характеристик об'єктів оцінити очікуваний розмір шкоди (збитку), що може завдати НС (A) в не грошових одиницях: кількість постраждалих і загиблих, ступінь ураження, площа ділянок, що вигоріли, ступінь руйнування будівель та ін.

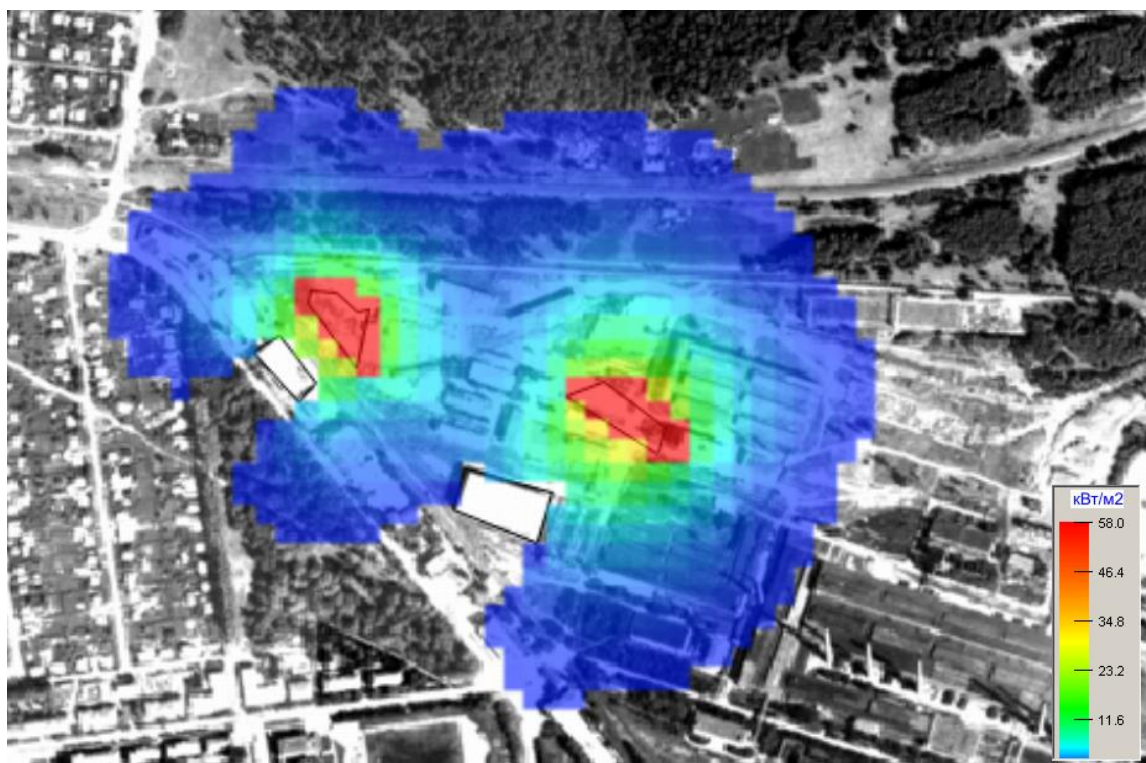


Рис. 13.2 – Зони впливу інтенсивності теплового випромінювання пожежі

Оцінка наслідків впливу небезпечних НС на людей для різних сценаріїв її розвитку здійснюється на основі зіставлення інформації про моделювання динаміки небезпечних факторів НС на території об'єкта та за його межами та інформації про критичні для життя та здоров'я людей (чи ступені ураження будівель, технологічного обладнання) значення небезпечних факторів НС.

При оцінці наслідків впливу небезпечних факторів НС на людей для різних сценаріїв розвитку аварійних ситуацій передбачається визначення кількості людей, які потрапили до зони ураження небезпечними чинниками НС.

Для уточнення наслідків ймовірності ураження людей небезпечними чинниками НС доцільно використовувати ймовірнісні критерії ураження – пробіт-функції. Детерміновані критерії використовуються у разі неможливості застосування ймовірнісних критеріїв.

Шостий етап: здійснюється розрахунок ризиків від НС для конкретного поля за формулою:

$$R = P \cdot A, \quad (6)$$

де P – ймовірність виникнення НС;

A – очікуваний розмір шкоди (збитку), що може завдати НС.

На шостому, заключному, етапі побудови полів ризику, в розрахункові зони впливу небезпечних чинників надзвичайних ситуацій заносять числове значення ризику, що відповідає цій зоні (рис. 1). Найчастіше, для покращення сприйняття розмірів зон їх виділяють різними кольорами, що відповідають відповідному рівню ризику.

При цьому слід враховувати, що форма та розміри небезпечних зон будуть істотно залежати від сценарію розвитку аварії.

Питання для самоконтролю

1. На підставі яких даних здійснюється визначення розрахункових величин ризиків на об'єкті?
2. Що розуміють під поняттям «полів ризику»?
3. Назвіть етапи побудови полів ризику.
4. Дайте розгорнуту характеристику першого етапу побудови ролів ризику.
5. Дайте розгорнуту характеристику другого етапу побудови ролів ризику.
6. Дайте розгорнуту характеристику третього етапу побудови ролів ризику.
7. Дайте розгорнуту характеристику четвертого етапу побудови ролів ризику.
8. Дайте розгорнуту характеристику п'ятого етапу побудови ролів ризику.
9. Дайте розгорнуту характеристику шостого етапу побудови ролів ризику.

Рекомендована література

1. ДСТУ ІЕС/ISO 31010 (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT) Керування ризиком Методи загального оцінювання ризику.
2. Соболев О.М., Тютюнник В.В., Ляшевська О.І., Соболев, В. М. (2019). Моделювання поля індивідуального ризику на комбікормовому виробництві. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 9(1). С. 1–12.
3. Наказ МНС від 24.09.2007 р. № 659 «Про удосконалення паспортизації територій щодо ризиків виникнення надзвичайних ситуацій».
4. Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено наказом Мінпраці від 4.12.2002 р. №637.
5. Федоренко Р.М., Грінченко Є.М., Соколов Д.Л. (2014). Побудова поля колективного ризику для прилеглої території нафтобази. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи»*. 2–3 жовтня 2014 р. С. 278–279.
6. Біляєв М.М., Берлов О.В., Біляєва В.В., Чередниченко Л.А. (2020). Оцінка ризику термічного ураження у випадку аварійного горіння. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, (6), С. 54-60.
7. Глива В. А., Халмурадов Б. Д., Кашперський В. Є., Панова О. В., Бірук Я. І., Зозуля С. (2021). Методологічний підхід до оцінювання ризиків впливу фізичних факторів техногенного походження в умовах невизначеності.

ЛЕКЦІЯ 14. ПРОБІТ-ФУНКЦІЯ ПРИ ОЦІНЦІ РИЗИКІВ

План

1. Пробіт-функція.
2. Пробіт-функція при оцінці наслідків надзвичайних ситуацій.

14.1 Пробіт-функція

Виходячи зі специфіки об'єктів підвищеної небезпеки, основними фізіологічними і біологічними факторами ураження для людини можна вважати:

- баричні ефекти (вибухи парів і газів);
- теплове випромінювання (пожежі розливу, вогневі кулі, факельне горіння);
- механічні дії при руйнуванні конструкцій від вибухових чи інших явищ;
- токсичні впливи шкідливих речовин при їх попаданні в організм людини.

Відомо, що в загальному випадку одна і та ж міра впливу (кількість поглиненої речовини, доза термічної радіації або імпульс тиску) призводить до наслідків різного ступеня тяжкості у різних людей, тобто ефект ураження носить імовірнісний характер та може бути пов'язаним з різницею у віці, статі, загального здоров'я людини, індивідуальної чутливості до НХР (у випадку токсичного впливу) та ін.

Величина ймовірності ураження (ефект ураження) P_{yp} (вимірюється у відсотках або частках від одиниці) виражається функцією Гауса (функцією помилок), що описується виразом:

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

Верхньою межею інтегрування у цьому виразі є, так звана, пробіт-функція Pr , що відтворює зв'язок між ймовірністю ураження P_{yp} та інтенсивністю впливу небезпечного чинника надзвичайної ситуації S .

Пробіт-функція Pr (скорочення від «**prob**ability **unit**» – «probit») (probit-function) використовується у якості імовірнісного критерію ураження людей і/або будівель і споруд. У загальному випадку пробіт-функція описується виразом:

$$\text{Pr} = a + b \ln S, \quad (2)$$

де a, b – константи, що залежать від ступеня ураження та виду об'єкта;
 S – інтенсивність впливу небезпечного чинника надзвичайної ситуації.

Співвідношення між величиною Pr та умовною ймовірністю ураження людини наведено у таблиці 14.1.

Таблиця 14.1 – Зв’язок ймовірності події із значенням пробіт-функції

Умовна ймовірність ураження, P, %	Величина пробіт-функції Pr									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Пробіт-аналіз – метод математичної статистики, який застосовується для обробки S-подібних кривих залежності реалізації загроз, наприклад: «загроза реалізована – загроза не реалізована», від величини збитків. Використання цього методу дозволяє знайти величину збитків і оцінити ймовірність реалізації загроз. При цьому суть методу, що розглядається, полягає в лінеаризації S-подібної кривої, шляхом перетворення її в пряму лінію, яка може бути оброблена методами аналізу лінійних залежностей.

14.2 Пробіт-функція при оцінці наслідків надзвичайних ситуацій

14.2.1 Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов’язаних з вибухами

Під час вибуху паро газоповітряних чи пилоповітряних сумішей утворюється ударна хвиля, що характеризується надлишковим тиском ΔP та імпульсом фази стиснення i^+ .

Для оцінки наслідків надзвичайних ситуацій пов’язаних з вибухами на людей (ймовірність тривалої втрати орієнтації – нокдауну), що знаходяться поза межами будівель, використовується пробіт-функція, що описується наступними виразами:

$$Pr = 5,0 - 5,74 \ln S, \quad (3)$$

$$S = \frac{4,2}{P} + \frac{1,3}{i}, \quad (4)$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{P_0} ; \quad (5)$$

$$\bar{i} = \frac{i^+}{P_0^{0,5} \cdot m^{0,33}} , \quad (6)$$

де m – маса тіла людини (допускається приймати рівною 70 кг), кг;
 ΔP – надлишковий тиск хвилі стиснення, Па;
 i^+ – імпульс хвилі стиснення, Па·с;
 P_0 – атмосферний тиск, Па.

Ймовірність травмування людей (ушкодження барабанних перепонок) може бути визначена за формулою:

$$Pr = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P , \quad (7)$$

Ймовірність ураження людей зі смертельними наслідками (внаслідок відкидання тіла людини ударною хвилею) може бути визначена за формулою:

$$Pr = 5 - 2,44 \ln \left[\frac{7380}{\Delta P} + \frac{1,3 \times 10^9}{\Delta P \cdot i^+} \right] , \quad (8)$$

Ймовірність оцінки наслідків ураження будівель та споруд також може бути обчислена за допомогою пробіт-функцій, що мають вигляд:

- для сильних руйнувань:

$$Pr = 5,0 - 0,26 \ln V , \quad (9)$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i^+} \right)^{9,3} ; \quad (10)$$

- для повного руйнування:

$$Pr = 5,0 - 0,22 \ln V , \quad (11)$$

$$V = \left(\frac{40000}{\Delta P} \right)^{7,4} + \left(\frac{460}{i^+} \right)^{11,3} . \quad (12)$$

14.2.2 Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами

Дія небезпечних чинників масштабних пожеж (пожеж розливу ЛЗР та ГР, факельного горіння чи пожежі типу «вогняна куля») пов'язана із дією теплового випромінювання полум'я.

Термічний вплив теплового випромінювання на людину пов'язане з перегріванням верхніх шарів шкіри. При цьому відбуваються незворотні біохімічні процеси, що проявляються у формі опіків різних ступенів тяжкості.

Ймовірність ураження того чи іншого ступеня під час термічного впливу визначається за допомогою пробіт-функцій виду:

- для опіків першого ступеня:

$$Pr = -34,8 + 3,02 \ln \left(q^{\frac{4}{3}} \cdot \tau \right), \quad (13)$$

- для опіків другого ступеня:

$$Pr = -38,1 + 3,02 \ln \left(q^{\frac{4}{3}} \cdot \tau \right), \quad (14)$$

- для смертельного ураження:

$$Pr = -31,4 + 2,56 \ln \left(q^{\frac{4}{3}} \cdot \tau \right), \quad (15)$$

де q – інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м²;
 τ – час дії теплового випромінювання, с.

Людина відчуває нестерпний біль у випадку, коли температура верхнього шару шкіри підвищується до температури 45 °С. Час досягнення «больової межі» залежить від значення інтенсивності теплового випромінювання та має наступну залежність:

$$\tau = \left(\frac{35}{q} \right)^{\frac{4}{3}}. \quad (16)$$

За інтенсивності теплового випромінювання менше 1,7 кВт/м² біль не відчувається навіть при тривалому впливі.

Термічний вплив джерела теплового випромінювання на горючі матеріали може призвести до подальшого поширення аварії та стати причиною її розвитку у каскадному режимі.

Кожен горючий матеріал характеризується критичним значенням інтенсивності теплового випромінювання $q_{кр}$, за якого займання не відбувається навіть за тривалого часу теплового впливу. Проте перевищення цього значення призводить до займання горючого матеріалу. Зі збільшенням значення теплового потоку час до початку займання горючого матеріалу зменшується.

Критичні значення інтенсивності теплового випромінювання для деяких горючих матеріалів було наведено у лекції №8.

У загальному випадку залежність часу займання горючого матеріалу від величини інтенсивності теплового випромінювання має вигляд:

$$\tau = \frac{A}{(q - q_{кр})^n}, \quad (17)$$

де A та n – константи для конкретного горючого матеріалу, що отримані емпіричним шляхом (наприклад, для деревини $A = 4360$, $n = 1,61$).

14.2.3 Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з викидом (виливом) небезпечних хімічних речовин

До небезпечних хімічних речовин відносять речовини, пряма або опосередкована дія яких на організм людини може призвести до хронічного захворювання чи смерті.

Основними характеристиками токсичних властивостей НХР є: гранично допустима концентрація ГДК (мг/м³), смертельна концентрація речовини в середовищі (повітрі, воді, продуктах), а також токсодоза (порогова, уражальна, смертельна). Найбільш часто використовують величини LC₅₀ (мг/л) (середня смертельна концентрація, що призводить до летального випадку для 50 % уражених), та LD₅₀ (мг·хв/л) (середня смертельна токсодоза, що призводить до летального випадку для 50 % уражених за тривалості експозиції для незахищеного населення 30 хв.).

У загальному випадку загального токсичного впливу НХР на організм людини ефект ураження описується функцією Гауса (1). У випадку перебування людини в атмосфері з постійною концентрацією НХР значення пробіт-функції можна визначити за співвідношенням:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C_t^n \cdot \tau), \quad (18)$$

де n – показник ступеня, що визначається експериментальним шляхом;

τ – час впливу (експозиції), хв.;

a та b – коефіцієнти, що визначається експериментальним шляхом;

C_t – концентрація НХР, що пов'язана із концентрацією C (мг/л) наступним співвідношенням:

$$C_t = \frac{C \cdot (273,15 + t)}{12,187 \cdot M}. \quad (18)$$

де t – температура суміші, °С;

M – молекулярна маса НХР, кг/кмоль.

Значення коефіцієнтів a , b та показник ступеня n для деяких НХР наведено у таблиці 14.2.

Таблиця 14.2 – Значення коефіцієнтів a , b та показник ступеня n для деяких НХР

Речовина	a	b	n
Акролеїн (акриловий альдегід)	-9,931	2,049	1,000
Акрилонітрил (вінілціанід)	-29,420	3,008	1,430
Аміак	-35,900	1,850	2,000
Бензол	-109,780	5,300	2,000
Бром	-9,040	0,920	2,000
Чадний газ	-37,980	3,700	1,000
Чотирихлористий вуглець (тетрахлорметан)	-6,290	0,408	2,500
Хлор	-8,290	0,920	2,000
Формальдегід	-12,240	1,300	2,000
Соляна кислота	-16,850	2,000	2,000
Ціанідна (синильна) кислота	-29,420	3,008	1,430
Фтористоводнева (флуоридна, плавікова) кислота	-35,870	3,354	1,000
Сірководень	-31,420	3,008	1,430
Бромистий метил	-56,810	5,270	1,000
Метилізоціанат	-5,642	1,637	0,653
Діоксид азоту	-13,790	1,400	2,000
Фосген	-19,270	3,686	1,000
Оксид пропілену	-7,415	0,509	2,000
Діоксид сірки	-15,670	2,100	1,000
Толуол	-6,794	0,408	2,500

Наведені у табл. 14.2 значення коефіцієнтів a , b та показник ступеня n є усередненими, оскільки вплив НХР на організм людини залежить від багатьох факторів: стану здоров'я реципієнта, віку, фізичних даних, статі, індивідуальної чутливості до НХР та ін.

У випадку сумісної дії кількох НХР для оцінки ймовірності ураження використовують метод додавання (адитивності) ефектів. Метод адитивності використовується тільки у тому випадку, коли НХР відносяться до однієї групи відповідно до токсикологічної класифікації НХР.

Питання для самоконтролю

1. Навести основні фізіологічні та біологічні фактори ураження для людини?
2. Дати визначення поняття «пробіт-функція»?
3. З якою метою використовується пробіт-функція при оцінці ризиків?
4. Суть пробіт-аналізу при оцінці ризиків?
5. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з вибухами за допомогою пробіт-функції.
6. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами за допомогою пробіт-функції.

7. Оцінка наслідків надзвичайних ситуацій пов'язаних з викидом (виливом) небезпечних хімічних речовин за допомогою пробіт-функції.

Рекомендована література

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

2. Гадецька С.В., Дубницький В.Ю., Кушнерук Ю.І., Ходирев О.І., Черепньов І.А. Розрахунок таблиць пробіт-функцій для негаусових розподілів їх аргументів. *Системи обробки інформації*. 2022. № 1 (168). С. 16–28.

3. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О. Математичний підхід до визначення ризиків для населення урбанізованих територій від впливу техногенних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. (79). С. 49–60.

4. Mokhor V.V., Tsurkan V.V. Probit-method for information security risk assessment. *Information Technology and Security*. 2013. (1). P. 65–71.

5. Гарбуз С.В., Григоренко О.М., Ключка Ю.П. Класифікація об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням імплементації директиви Севезо 3 на території України. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2017. № 25. С. 14–21.

ЛЕКЦІЯ 15. УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

План

1. Загальні положення управління ризиками надзвичайних ситуацій.
2. Напрямки зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

15.1 Загальні положення управління ризиками надзвичайних ситуацій

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 ризиком**» (**risk management**).

Управління ризиком (risk management) – це частина системного підходу до прийняття рішень, процедур та практичних заходів для вирішення завдань запобігання або мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій для життя людини, захворювань або травм, шкоди матеріальним цінностям та навколишньому природному середовищу.

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

З метою зниження ризику виробничої діяльності для персоналу, населення, доквілля здійснюють заходи, що загально 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 прийнятого рівня ризику.

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

- моніторинг стану пожежної та техногенної безпеки ОПН;
- прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру та оцінка їхнього ризику;
- раціональне розміщення формувань оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на території країни з точки зору оперативної готовності до дій з ліквідації НС;
- запобігання аваріям та техногенним катастрофам шляхом підвищення пожежної і техногенної безпеки виробничих процесів та експлуатаційної надійності обладнання;
- 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;
- підготовка об'єктів економіки та систем життєзабезпечення населення до роботи в умовах надзвичайних ситуацій;
- підготовка політики запобігання аваріям на об'єкті підвищеної небезпеки 1 або 2 класу та звіту про заходи безпеки на об'єкті підвищеної небезпеки;
- проведення державної експертизи у сфері захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій;
- проведення державного нагляду та контролю з питань пожежної та техногенної безпеки;
- страхування техногенних ризиків;
- інформування населення про потенційні техногенні загрози на території проживання;
- здійснення заходів захисту персоналу та населення, що проживає на територіях, прилеглих до потенційно небезпечних об'єктів;
- 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.

15.2 Напрямки зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій

Метою управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій є забезпечення безпеки об'єктів підвищеної небезпеки та мінімізації збитків від аварійності та травматизму, або утримання збитків у допустимих межах за умови дотримання технології робіт та ресурсів, виділених для забезпечення

безпеки. При цьому мається на увазі не абсолютний, а відносний рівень безпеки, що враховує ймовірнісний підхід до її забезпечення.

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.

Питання для самоконтролю

1. Навести визначення поняття «управління ризиком» (risk management).
2. За якими напрямками розподіляються заходи зниження ризику виробничої діяльності для персоналу, населення, довкілля?
3. Дайте коротку характеристику заходів моніторингу, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
4. Дайте коротку характеристику заходів обмеження, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
5. Дайте коротку характеристику заходів захисту, що використовуються для зниження ризику виробничої діяльності?
6. Які заходи здійснюються з метою управління ризиком надзвичайних ситуацій у практичній діяльності?
7. Назвати основні напрямки зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.
8. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зниження ймовірності виникнення аварії.
9. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на змен-

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

10. Основні заходи управління ризиком НС, що спрямовані на зменшення масштабів ураження.

Рекомендована література

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

2. 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.

3. 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.

4. Федорчак В.В. Механізми державного управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій в Україні [Текст]: дис... доктора наук з держ. Управління / В.В Федорчак. – Х., 2018. – 429 с.

Навчальне видання

**ОСНОВИ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ
В ПОЖЕЖНІЙ БЕЗПЕЦІ**

Конспект лекцій

Для здобувачів вищої освіти,
які навчаються на першому (бакалаврському) рівні
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»
(освітньо-професійна програма
«Аудит пожежної та техногенної безпеки»)

Підписано до друку 08.12.2023. Формат 60x84 1/16.
Умовн.-друк. арк. 9,4.
Вид. № 71/23.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.
www.nuczu.edu.ua