

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 1**  
з навчальної дисципліни  
**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Сингулярні методи прогнозування»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути існуючі сингулярні методи прогнозування.

**Загальні методичні вказівки**

- 1.Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
- 2.Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
- 3.Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|  |        |
|--|--------|
| Вступ .....                                      | 5 хв.  |
| 1. Основи прогнозування .....                    | 10 хв. |
| 2. Методи прогнозування та їх класифікація ..... | 25 хв. |
| 3. Формалізовані методи прогнозування .....      | 25 хв. |
| 4. Інтуїтивні методи прогнозування .....         | 10 хв. |
| Висновок .....                                   | 5 хв.  |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

- 1.Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
- 2.Крянев А.В., Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
- 3.Вучков И., Бояджијева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Дело, 1987. – 239 с.
- 4.Вентцель Е.С. Исследование операций.– М.: Советское радио, 2001. – 208 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1 Основи прогнозування

У загальному вигляді під прогнозуванням розуміють процес наукових досліджень якісного і кількісного характеру, направлений на з'ясування тенденцій розвитку явищ, а також пошук оптимальних шляхів досягнення цілей цього розвитку.

**Завдання прогнозу** – дати об'єктивне, достовірне уявлення про те, що буде за тих або інших умов. Для вирішення цього завдання розробляється пошуковий прогноз, завданням якого є показати, яким чином буде розвиватись об'єкт за умови незмінного характеру зовнішнього впливу. В результаті з'явиться відповідь на питання: «що буде», якщо не вживати ніяких регулюючих дій. Таким чином, пошуковий прогноз визначає сфери, що вимагають пріоритетного втручання для подолання небажаних процесів.

Прогнозування не зводиться лише до пасивної ролі передбачення того, що може відбутися в майбутньому, розробляються і цільові прогнози, які визначають цілі, поставлені державою перед ДСНС, і можливі шляхи їх досягнення.

При цьому в рівній мірі небезпечно як приземляти цілі, посилячись на дефіцит ресурсів, так і ставити нереальні цілі, яким би необхідним не було їх досягнення. Окрім цього, необхідно враховувати існування суперечностей між довго- і короткостроковими цілями. Віддання переваги сьогоденним вигодам, як правило, ускладнює рух у стратегічному напрямі. Тому необхідна наявність певного балансу між ними.

Прогнозування застосовується на передплановій стадії розробки управлінських рішень і сприяє виробленню концепції розвитку на перспективу.

Прогнозування тісно пов'язане з плануванням і є необхідною передумовою планових розрахунків.

Одне з важливих завдань прогнозування – прогноз так званих критичних величин процесів розвитку, виявлення можливих термінів крупних зрушень, що знаменують якісну зміну процесів, що вивчаються. Наприклад, у прогнозуванні рівня пожежної безпеки підґрунтям таких зрушень може стати поява і розповсюдження якісно нових способів і засобів попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій.

У процесі прогнозування використовуються наступні два підходи.

Суть першого – прогнозувати, починаючи від моменту складання прогнозу, поступово використовуючи ретроспективні данні процесу дослідження визначити можливий стан об'єкту дослідження в майбутньому.

Суть другого – визначити майбутні цілі та орієнтири, а вже від них поступово рухатися до сьогодення.

У першому випадку маємо пошукове (генетичне) прогнозування, у другому – нормативно-цільове прогнозування. З подовженням періоду прогнозування, як правило, нормативний його характер посилюється, оскільки на розвиток у більш віддалені терміни менше впливають умови, що склалися на сьогодні.

Прогнозування спирається на математико-статистичний інструментарій і використання обчислювальної техніки. Мета прогнозування полягає в створенні наукових передумов, що включають науковий аналіз тенденцій розвитку процесів і явищ, варіантне передбачення майбутнього розвитку сил і засобів ДСНС, який враховує як тенденції, що склалися, так і намічені цілі, для ухвалення управлінського рішення.

Залежно від мети прогнозування **прогнози поділяються на:**

- пізнавальні – опис можливих або бажаних перспектив, станів, майбутнього;
- управлінські – які передбачають використання інформації про майбутнє при ухваленні рішень.

Процес розробки прогнозів ґрунтується на наукових методах пізнання соціально-економічних явищ і використанні сукупності методів, засобів і способів науки прогностики.

За часом випередження прогнози підрозділяються на:

- наддовгострокові (період випередження – понад 20 років).
- довгострокові (період випередження – від 5 до 20 років)
- середньострокові (період випередження – від 1 року до 5 років);
- короткострокові (період випередження – від 1 місяця до 1 року);
- оперативні (період випередження – до одного місяця);

Під періодом випередження розуміється відрізок часу від моменту, для якого є останні статистичні дані про об'єкт прогнозування, до моменту, до якого стосується прогноз.

Розробка прогнозу – це пошук можливого реалістичного розвитку об'єкта або явища. Будь-який прогноз має варіанти розвитку з певним ступенем вірогідності і містить дані, необхідні для розробки й ухвалення обґрунтованих управлінських рішень.

Прогнозування базується на певних принципах (рис.1.)



Рис.1 – Принципи прогнозування

**Принцип системності** – передбачає розгляд об'єкта в його зв'язку і залежності з іншими процесами і явищами, дослідження кількісних і якісних закономірностей, побудову такого логічного ланцюга дослідження, згідно якого процес вироблення й обґрунтування будь-якого рішення відштовхується від визначення загальної мети системи і підпорядкування досягненню цієї мети діяльності всіх вхідних в неї підсистем.

**Принцип наукової обґрунтованості** – базується на: урахуванні вимог об'єктивних законів, застосуванні наукового інструментарію, вивченні досягнень вітчизняного і зарубіжного досвіду формування прогнозів, використанні методик і моделей як умови наукового формування системи прогнозів, їх обґрунтованості, дієвості і своєчасності.

**Принцип цілеспрямованості** – передбачає цілеспрямований характер прогнозування, тобто зміст прогнозу не треба зводити тільки до передбачення, а включати і цілі, яких бажано досягти.

**Принцип адекватності прогнозу об'єктивним закономірностям** – характеризує не тільки процес виявлення тенденцій розвитку, але й оцінку стійкості тенденцій і взаємозв'язків, а також створення теоретичного аналога реальних процесів.

Реалізація принципу адекватності передбачає врахування імовірного характеру процесів. Це означає необхідність оцінки як домінуючих тенденцій, так і відхилень, що склалися, визначення можливої області їх розбіжності, а також оцінку ймовірності їх реалізації в майбутньому.

**Принцип альтернативності** – передбачає вибір варіантів розвитку в різних траєкторіях, при різних взаємозв'язках і структурних співвідношеннях. Перехід від імітації процесів і тенденцій, що склалися, до передбачення їх майбутнього розвитку, що базується на побудові альтернатив, тобто визначення декількох можливих, а часто і протилежних, взаємовиключних шляхів розвитку.



**Принцип історичності** – полягає у розгляді прогнозованих явищ і процесів у взаємозв'язку їх історичних форм. Іншими словами, у процесі прогнозування необхідно виходити з того, що стан досліджуваного об'єкта є закономірним результатом його попереднього розвитку, а майбутнє – закономірним результатом його розвитку у минулому і сьогоденні.

Основними завданнями прогнозування є:

- накопичення наукового матеріалу для обґрунтованого вибору прогнозних рішень;
- оцінка стану об'єкта прогнозування;
- науковий аналіз тенденцій розвитку;
- дослідження об'єктивних взаємозв'язків процесів і явищ в конкретних умовах місця і часу;
- виявлення альтернатив еволюції об'єкта прогнозування;
- вибір і обґрунтування варіанта прогнозу.

**Оцінка стану об'єкта прогнозування** базується на поєднанні імовірнісного і детермінованого підходів.

Суть імовірнісного підходу базується на визнанні неможливості в соціально-економічних системах отримати абсолютно точні відомості про всі процеси, які в даний момент відбуваються, а тим більше в деталях передбачити майбутнє.

Детермінований підхід базується на визнанні соціально-економічної системи не імовірнісною, а детермінованою. Це означає, що кожне рішення викликає чітко певний результат. Випадковими діями, не передбаченими заздалегідь, при цьому нехтують. Цей підхід припускає спрощення реальної дійсності, що носить насправді імовірнісний характер. За абсолютної детермінізми зникає можливість альтернативного вибору рішень. За абсолютної невизначеності конкретне представлення майбутнього не можливе, і в цих випадках прогнозування втрачає сенс.

**Науковий аналіз прогнозів** здійснюється у три стадії: ретроспекція, діагноз, проспекція.

Під **ретроспекцією** розуміють етап прогнозування, на якому досліджується історія розвитку об'єкта для отримання його систематизованого опису. На цій стадії здійснюється збір і обробка інформації, оптимізація складу джерел, уточнення й остаточне формування структури і складу характеристик об'єкта прогнозування.

**Діагноз** – етап прогнозування, на якому досліджується систематизований опис об'єкта прогнозування, з метою виявлення тенденції його розвитку і вибору моделей, методів прогнозування. На стадії діагнозу проводиться аналіз об'єкта прогнозування. Аналіз закінчується вибором і обґрунтуванням моделі, а також методу прогнозування.

**Проспекція** – етап прогнозування, на якому за даними діагнозу розробляються прогнози майбутнього розвитку об'єкта і проводиться оцінка достовірності, точності, обґрунтованості прогнозу. На стадії проспекції виявляється недостатність інформації про об'єкт прогнозування, уточнюється раніше отримана інформація, вносяться корективи в модель прогнозованого об'єкта відповідно до інформації, що знов надійшла.

**Дослідження об'єктивних зв'язків процесів і явищ** здійснюється у процесі розробки механізму використання об'єктивних законів, істотних причинно-наслідкових зв'язків явищ, що виражають їх повторюваність у певних умовах, та є віддзеркаленням. При прогнозуванні необхідно враховувати невизначеність, обумовлену стохастичною природою явищ, неповнотою їх пізнання, наявністю суб'єктивного чинника при ухваленні планових рішень, недосконалістю і недостатньою надійністю інформації.

**Виявлення об'єктивних альтернатив** досліджуваного процесу і тенденцій його розвитку на перспективу припускає необхідність вибору між взаємовиключними можливостями.

**Вибір і обґрунтування варіанта прогнозу** здійснюється на основі генетичного (дослідницького, пошукового) і нормативного (цільового) підходу.

При генетичному підході визначається можливий стан об'єкта прогнозування в перспективі, з урахуванням збереження існуючих тенденцій розвитку цього об'єкта. При цьому не враховуються умови, які можуть змінити ці тенденції.

При нормативному підході визначається можливий стан об'єкта, виходячи з висунутих рекомендацій щодо бажаної поведінки об'єкта. Обидва підходи пов'язані між собою, взаємно доповнюють один одного і, як правило, використовуються в сукупності, забезпечуючи комплексне вивчення прогнозованого явища або процесу.

Прогнозування є складним процесом діяльності в рамках підготовки та обґрунтування управлінського рішення, яке потребує ретельного наукового підходу, з урахуванням специфіки методології прогнозування.

## 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

Під методами прогнозування розуміють сукупність прийомів і способів мислення, що дозволяють на основі аналізу зовнішніх і внутрішніх зв'язків об'єкта прогнозування розробити прогноз, з певною мірою достовірності, щодо майбутнього розвитку об'єкта.

Вся сукупність методів прогнозування групується за наступними ознаками:

– за способом отримання й обробки інформації розрізняють:

- a) статистичні методи;
- b) методи аналогій;
- c) випереджальні методи;

– за ступенем формалізації методи розподіляються:

- a) формалізовані;
- b) Інтуїтивні.

**Статистичні методи** – система прийомів, способів обробки інформації, направлених на отримання кількісних закономірностей, що виявляються у структурі, динаміці і взаємозв'язках прогнозованих масових соціально-економічних явищ.

**Методи аналогій** – отримання прогнозів, побудованих на логічному зв'язку та схожості закономірностей розвитку одних процесів з іншими, що дозволяє після дослідження робити висновки, хоча і не остаточні, і не доказові в повному розумінні цього слова.

**Випереджальні методи прогнозування** базуються на певних принципах спеціальної обробки науково-технічної інформації, що дозволяє реалізувати у прогнозі її властивість відображати нові тенденції та закономірності розвитку об'єкта прогнозування.

У свою чергу їх можна розділити на методи дослідження динаміки розвитку об'єкта і методи дослідження й оцінки рівня розвитку об'єкта.

**Інтуїтивні методи прогнозування** – це методи вирішення складних проблем, що не формалізуються, за допомогою отримання прогнозних оцінок стану розвитку об'єкта в майбутньому, незалежно від інформаційної забезпеченості, методом експертних оцінок. На рис. 2 представлено класифікаційну схему методів прогнозування.

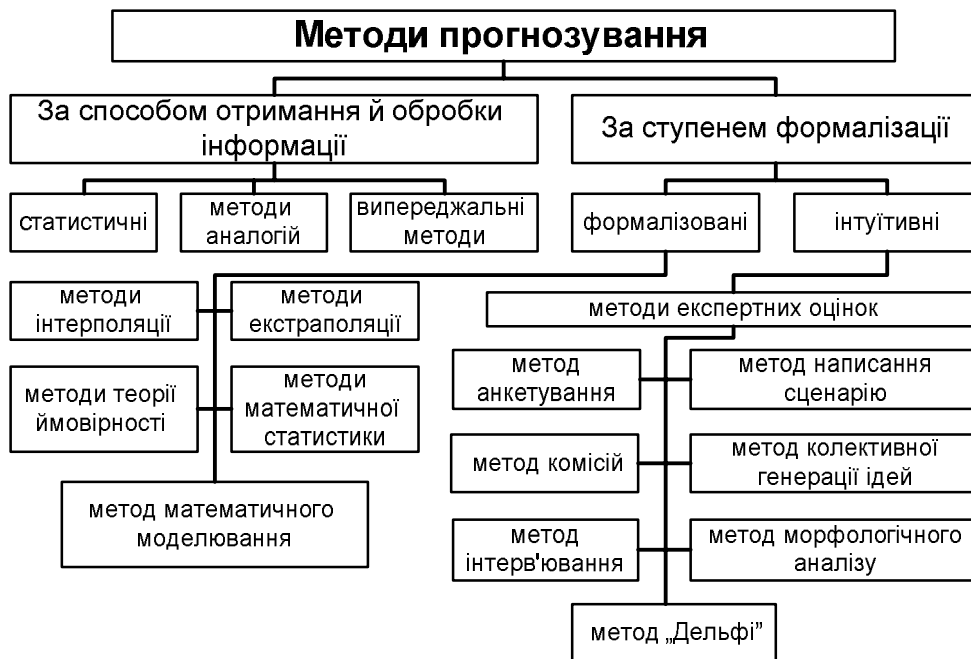


Рис. 2 – Класифікація методів прогнозування

Треба також підкреслити, що представлена класифікація не є вичерпною і може змінюватись разом з розвитком науки прогностики.

## 1. ФОРМАЛІЗОВАНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ

Формалізовані методи прогнозування базуються на побудові прогнозів формальними засобами математичної теорії, які дозволяють підвищити достовірність і точність прогнозів, значно скоротити терміни їх виконання, полегшити обробку інформації й оцінку результатів.

До складу формалізованих методів прогнозування входять [1, 5]: методи інтерполяції й екстраполяції, метод математичного моделювання, методи теорії ймовірності і математичної статистики.

### Методи інтерполяції і екстраполяції

Сутність методу інтерполяції полягає у знаходженні прогнозних значень функцій об'єкта  $y_i = f(x_i)$ , де  $i = 0 \dots n$ , у точках усередині відрізка  $x_0 \dots x_n$  за відомими значеннями параметрів у точках  $x_0 < x < x_n$ .

Основними умовами, що пред'являються до функцій при інтерполяції, є:

- функція повинна бути безперервною й аналітичною;
- функція повинна бути достатньою мірою гладкою, тобто вона має володіти достатнім числом не дуже швидко зростаючих похідних.

У прогнозуванні найчастіше застосовуються інтерполяційні формули Лагранжа, Ньютона, Стірлінга, Бесея.

**Метод екстраполяції** – це метод наукового дослідження, що полягає в застосуванні тенденцій, встановлених у минулому, у майбутньому.

Математичні методи екстраполяції зводяться до визначення того, які значення прийматиме та або інша змінна величина  $Y = F(x)$ , якщо відомий ряд її значень в попередні моменти часу  $y_{(1\dots n)} = f(x_1) \dots f(x_n)$ .

У вузькому розумінні слова екстраполяція – це знаходження за рядом ретроспективних даних функціональної залежності інших її значень, що знаходяться поза цим рядом. Екстраполяція полягає у вивченні стійких тенденцій розвитку явища, що

склалися у минулому і сьогодні, і перенесення їх на майбутнє. У прогнозуванні екстраполяція застосовується при вивченні рядів динаміки і є знаходженням значень функції за межами області її визначення з використанням інформації про поведінку даної функції в деяких точках, що належать області її визначення.

Розрізняють перспективну і ретроспективну екстраполяцію.

Перспективна екстраполяція припускає продовження рівнів ряду динаміки на майбутнє на основі виявленої закономірності зміни рівнів у відрізок часу, що вивчається.

Ретроспективна екстраполяція характеризується продовженням рівнів ряду динаміки в минуле.

Існує формальна і прогнозна екстраполяція.

Формальна екстраполяція базується на припущенні збереження в майбутньому минулих і сучасних тенденцій розвитку об'єкта. Прогнозна екстраполяція пов'язує фактичний стан досліджуваного об'єкта з гіпотезою про динаміку його розвитку. Вона припускає необхідність урахування в перспективі альтернативних змін самого об'єкта, його суті.

При розробці прогнозів за допомогою екстраполяції виходять з тенденцій зміни тих або інших кількісних статистичних характеристик об'єкта. Екстраполуються функціональні, системні і структурні характеристики. Ступінь реальності таких прогнозів значною мірою зумовлюється обґрунтованістю вибору меж екстраполяції і відповідністю вибраних показників суті даного явища або процесу.

Послідовність дій при статистичному аналізі тенденцій та екстраполяції полягає в наступному:

1. Формулювання завдання, висування гіпотез про можливий розвиток прогнозованого об'єкта, обговорення чинників, які стимулюють або перешкоджають розвитку об'єкта, визначення екстраполяції та її допустимої дальності.

2. Вибір системи параметрів, уніфікація різних одиниць вимірювання, що відносяться до кожного параметра окремо.

3. Збір і систематизація даних, перевірка однорідності даних та їх порівнянність.

4. Виявлення тенденцій зміни величин статистичного аналізу і безпосередньої екстраполяції даних, що вивчаються.

В екстраполяційних прогнозах прогноз конкретних кількісних показників об'єкта, що вивчається, або параметрів не є основним результатом. Важливішим є своєчасне виявлення зрушень закономірних тенденцій розвитку явища або процесу, що об'єктивно намічаються. Під тенденцією розвитку розуміють деякий його загальний напрям, довготривалу еволюцію. Зазвичай тенденцію прагнуть представити у вигляді більш-менш гладкої траєкторії. Для підвищення точності екстраполяції тренд явища, що екстраполуються, коректується з урахуванням досвіду функціонування об'єкта – аналога досліджень або об'єкта, що випереджає у своєму розвитку прогнозований об'єкт. Залежно від того, які принципи і які початкові дані покладені в основу прогнозу, можуть застосовуватись наступні методи екстраполяції: середнього абсолютного приросту, середнього темпу зростання і екстраполяція на основі вирівнювання рядів за якою-небудь аналітичною формулою.

Прогнозування за середнім абсолютним приростом може бути виконане в тому випадку, якщо є упевненість в тому, що загальна тенденція є лінійною, тобто метод базується на припущенні про рівномірну зміну рівня (під рівномірністю розуміється стабільність абсолютних приростів). Для знаходження аналітичного виразу тенденції на будь-яку дату визначається середній абсолютний приріст і послідовно додається до останнього рівня ряду стільки разів, на скільки періодів екстраполуються ряд.

Аналітичний вираз цього методу виглядає таким чином:

$$y_{i+t} = y_i + \Delta t, \quad (1)$$

де  $\hat{O}_{i+t}$  – рівень, що екстраполюється;  
 $(i+t)$  – номер рівня (роки);  
 $\Delta$  – середній абсолютний приріст;  
 $i$  – номер останнього рівня досліджуваного періоду, за який розраховано  $\Delta$  ;  
 $t$  – термін прогнозу (період випередження).

Прогнозування за середнім темпом зростання можна здійснювати у разі, коли є підстава вважати, що загальна тенденція ряду характеризується показовою (експоненціальною) кривою. Для знаходження тенденції в цьому випадку необхідно визначити середній коефіцієнт зростання, зведений у ступінь, відповідний періоду екстраполяції, тобто за формулою:

$$Y_{i+t} = Y_i \cdot K_p^t, \quad (2)$$

де  $Y_i$  – останній рівень ряду динаміки;  
 $t$  – термін прогнозу;  
 $K_p^t$  – середній коефіцієнт зростання.

Якщо ж ряду динаміки властива інша закономірність, то дані, отримані при екстраполяції на основі середнього темпу зростання, відрізнятимуться від даних, отриманих іншими способами екстраполяції.

Розглянуті методи екстраполяції тренда, будучи простими, в той же час є і найменш адекватними. Тому найбільш поширеним способом є аналітичний вираз тренда.

**Тренд явища** – це тривала тенденція зміни показників явища або процесу, тобто зміна, що визначає загальний напрям розвитку, основну тенденцію зміни рівнів ряду ретроспективних даних. Тренд характеризує основні закономірності руху в часі, в деякій мірі вільні від випадкових коливань.

Розробка прогнозу полягає у визначенні виду екстраполяційної функції на основі вихідних ретроспективних даних і параметрів. Першим етапом є вибір оптимального виду функції, що дає якнайкращий опис тренда. Наступним етапом є розрахунок параметрів вибраної екстраполяційної функції.

Основу екстраполяційних методів прогнозування складає вивчення рядів динаміки, що є впорядкованими в часі наборами вимірювань тих або інших характеристик досліджуваного об'єкта, процесу.

Найбільш поширеними методами оцінки параметрів залежностей є: метод найменших квадратів та його модифікації, метод експоненціального вирівнювання, метод імовірнісного моделювання і метод адаптивного вирівнювання.

Метод найменших квадратів полягає у знаходженні параметрів моделі тренда, що мінімізують її відхилення від точок ретроспективного ряду. Важливим моментом отримання прогнозу за допомогою цього методу є оцінка достовірності отриманого результату.

Метод експоненціального вирівнювання є ефективним і надійним методом прогнозування. Основні переваги методу полягають у можливості ранжування важливості початкової інформації, в простоті обчислювальних операцій, у гнучкості опису динаміки процесів. Цей метод дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, що характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, що склалася до моменту спостереження. Метод найчастіше застосовується як метод для реалізації середньострокових прогнозів.

Метод імовірнісного моделювання базується на методі експоненціального вирівнювання. за достатньої кількості початкової інформації ймовірнісна модель може дати цілком надійний прогноз. Ця модель відрізняється простотою і наочністю. Оцінки,

що отримані за допомогою цієї моделі, мають цілком конкретне значення. Недоліком моделі є вимога щодо великої кількості спостережень і вивчення початкового розподілу, що може призвести до помилкових оцінок.

Метод адекватного вирівнювання є узагальненням звичайного експоненціального вирівнювання. За наявності достатньої інформації можна отримати надійний прогноз, на інтервал більший, ніж при звичайному експоненціальному вирівнюванні. Але це лише при дуже довгих рядах, інакше існує ризик отримати недостовірний прогноз. Цим і визначаються можливості його використання в реальній практиці. Пізніше ми розглянемо більш докладно застосування методу найменших квадратів як одного з найбільш поширених методів.

Метод математичного моделювання базується на можливості встановлення певної відповідності між знанням про об'єкт пізнання і самим об'єктом. Людські знання про об'єкт є більш-менш адекватним його відображенням, а матеріалізована форма знання є моделлю об'єкта. Таким чином, методом моделювання називається спосіб дослідження, при якому вивчаються не самі об'єкти, а їх моделі, і результати такого дослідження переносяться з моделі на об'єкт.

У прогнозуванні соціально-економічних процесів засобом вивчення їх закономірностей розвитку є математична модель, тобто формалізована система, що описує основні взаємозв'язки її елементів.

Математична модель є математичним описом об'єкта, проведеним в цілях дослідження й управління.

Широкий вибір формалізованих методів дає можливість здійснювати прогнозування, відповідно до заздалегідь встановлених вимог, для широкого спектра задач.

## **2. ІНТУЇТИВНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ**

Суть методу експертних оцінок полягає у проведенні експертами інтуїтивно-логічного аналізу проблеми з кількісною оцінкою думок і формальною обробкою результатів. При цьому узагальнена думка експертів приймається як вирішення проблеми. Використання інтуїції, логічного мислення і кількісних оцінок з формальною обробкою дозволяє отримати ефективне вирішення проблеми. Особливостями методу експертних оцінок є, по-перше, науково обґрунтована організація проведення всіх етапів експертизи, що забезпечує найбільшу ефективність роботи на кожному з етапів; по-друге, застосування кількісних методів як при організації експертизи, так і при оцінці думок експертів і формальній груповій обробці результатів. Найчастіше ці методи використовуються при розгляді соціально-економічних проблем, де неможливо виробити формалізовану прогностичну модель.

**Методи індивідуальних експертних оцінок** включають: методи анкетування й інтерв'ювання, аналітичний метод, метод написання сценарію.

Метод анкетування полягає в наданні експертам листів опитування, анкет, на які вони повинні дати відповіді у письмовій формі.

Інтерв'юванням є усне опитування експертів членами групи управління інтерв'юерами.

Недоліками інтерв'ю є можливість сильного впливу інтерв'юера на відповіді експерта, відсутність часу для глибокого продумування відповідей, а також високі вимоги до того, хто опитує, і великий час, що витрачається на опитування всього складу експертів.

Отримання прогнозних оцінок аналітичним методом здійснюється за допомогою логічного аналізу якої-небудь прогнозованої ситуації. Він припускає самостійну роботу експерта над аналізом тенденції, оцінкою стану і шляхів розвитку прогнозованого об'єкта.

**Метод написання сценарію** базується на визначенні логіки процесу або явища в часі за різних умов. Основне призначення сценарію — визначення генеральної мети розвитку об'єкта прогнозування, виявлення основних чинників фону і формулювання критеріїв для оцінки верхніх рівнів дерева цілей. Цінність сценарію тим вище, чим менше ступінь невизначеності, тобто чим вище ступінь узгодженості думок експертів у здійсненості подій, в розвитку процесу і так далі.

Основною перевагою розглянутого методу є можливість максимального використання індивідуальних здібностей експертів і відсутність значного психологічного тиску.

**Методи колективних експертних оцінок** – група методів колективних експертних оцінок, що базується на тому, що при колективному мисленні, по-перше, вище точність результату і, по-друге, при обробці індивідуальних незалежних оцінок, що виносяться експертами, можуть виникнути продуктивні ідеї. Існують наступні різновиди методів колективних експертних оцінок: метод «комісій», «метод Дельфі», метод «колективної генерації ідей» («мозкова атака»), метод морфологічного аналізу тощо.

**«Метод Дельфі»** – один з найбільш поширених методів експертних оцінок. Його основними особливостями є: анонімність експертів, повна відмова від особистих контактів експертів і колективних обговорень; багатотурова процедура опитування експертів за допомогою їх анкетування; забезпечення експертів інформацією, включаючи й обмін нею між експертами, після кожного туру опитування при збереженні анонімності оцінок, аргументації і критики; обґрунтування відповідей експертів зо запитом організаторів.

**Метод морфологічного аналізу** – застосовується при прогнозуванні складних процесів. Цей експертний метод полягає в систематизованому огляді всіх можливих комбінацій розвитку окремих елементів досліджуваної системи. Метод побудований на повних і чітких класифікаціях об'єктів, явищ, властивостей і параметрів системи, що дозволяють будувати й оцінювати можливі сценарії її розвитку в цілому. Цій меті служить прийом систематизованого охоплення інформації з подальшим дослідженням її за методом «морфологічного ящика». Останній будується у вигляді дерева або матриці, в чарунках яких поміщені відповідні характеристики об'єкта. Послідовне з'єднання одного з параметрів першого рівня з одним параметром наступного рівня є одним з можливих станів об'єкта або вирішень проблеми. В результаті створюється нова інформація про об'єкт, що вивчається, і виробляється оцінка всіх можливих альтернатив його стану.

Інтуїтивні методи прогнозування займають своє почесне місце серед методів прогнозування. Розвиток обчислювальної техніки та успіхи у створенні елементів штучного інтелекту відкривають нові можливості для використання інтуїтивних методів прогнозування.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня 20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 2**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Математичні методи прогнозування»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути математичні методи прогнозування.

**Загальні методичні вказівки**

- 1.Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
- 2.Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
- 3.Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| Вступ.....                       | 5 хв.  |
| 1Ряди динаміки.....              | 35 хв  |
| 2 Метод найменших квадратів..... | 30 хв. |
| Висновок.....                    | 10 хв. |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
2. Крянев А.В., Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
3. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Дело, 1987. – 239 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций.– М.: Советское радио, 2001. – 208 с.

# ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

## 1 РЯДИ ДИНАМІКИ

Дуже часто виникає необхідність досліджувати процеси, що динамічно змінюються. Вивчення змін, що відбуваються при цьому, є однією з необхідних умов пізнання закономірностей їх динаміки. Динаміка складних явищ обумовлена взаємодією різноманітних причин та умов. Ретроспективні дані в цьому випадку прийнято представляти у виді рядів динаміки.

Рядами динаміки називаються статистичні дані, які відображають розвиток явища, що вивчається, у часі.

Основна **мета вивчення динаміки** полягає у виявленні і визначенні закономірностей розвитку в часі. Це досягається за допомогою побудови й аналізу статистичних рядів динаміки.

Кожний ряд динаміки має два основні елементи:

- показники часу –  $t$ ;
- відповідні рівні розвитку явища (процесу) –  $y$ .

Рівні рядів динаміки відображають кількісну оцінку (міру) розвитку в часі явища, що вивчається. Вони можуть виражатися абсолютними, відносними або середніми величинами.

Залежно від характеру явища, що вивчається, рівні рядів динаміки можуть відноситися або до певних дат (моментів) часу, або до окремих періодів. Відповідно до цього ряди динаміки підрозділяються на моментні та інтервальні.

Моментні ряди динаміки відображають стан явищ (процесів), що вивчаються, на певний момент, на певну дату. Прикладом моментного ряду динаміки є інформація про облікову чисельність особового складу частини у 2007-2008 рр. Особливістю моментного ряду динаміки є те, що в його рівні можуть входити одні і ті самі одиниці сукупності, що вивчається. Інтервальні ряди динаміки відображають підсумки розвитку (функціонування) процесів, що вивчаються, і явищ за окремі періоди (інтервали) часу. Прикладом інтервального ряду динаміки можуть служити дані про виклики підрозділів оперативно-рятувальної служби за 2002-2008 рр.

Особливістю інтервального ряду динаміки є те, що кожен його рівень складається з даних за коротші інтервали (субперіоди) часу. Наприклад, підсумовуючи кількість викликів оперативно-рятувальних підрозділів за перші три місяці року, отримують кількість викликів за квартал і так далі. Властивість підсумовування рівнів за послідовні інтервали часу дозволяє отримувати ряди динаміки більш укрупнених періодів.

Статистичне відображення розвитку явища, що вивчається, в часі може бути представлене рядами динаміки з наростаючими підсумками. Їх застосування обумовлене потребами відображення результатів розвитку показників, що вивчаються, не тільки за даний звітний період, але і з урахуванням показників попередніх періодів. При складанні таких рядів проводиться послідовне підсумовування суміжних рівнів. Цим досягається сумарне узагальнення результату розвитку показника, що вивчається, з початку звітного періоду (місяця, кварталу, року і т. д.).

За допомогою рядів динаміки вивчення закономірностей розвитку процесів і явищ здійснюється за наступними основними напрямками:

- 1) характеристика рівнів розвитку явищ і процесів у часі;
- 2) з'ясування динаміки явищ, процесів за допомогою системи статистичних показників;
- 3) виявлення і кількісна оцінка основної тенденції розвитку (тренда);
- 4) вивчення періодичних коливань;
- 5) екстраполяція і прогнозування.

### Основні елементи рядів динаміки

При вивченні динаміки важливими є не тільки числові значення рівнів, але й їх послідовність. Як правило, часові інтервали між рівнями є однаковими (доба, декада, календарний місяць, квартал, рік). Взявши будь-який інтервал за одиницю, послідовність рівнів можна записати наступним чином:  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ .

Залежно від статистичної природи показника, розрізняють динамічні ряди первинні та похідні, ряди абсолютних, середніх і відносних величин. Разом з динамічністю, явищам і процесам властива інерційність: зберігання механізму формування явищ і характеру розвитку (темпи, напрями, коливання). За значної інерційності процесу і незмінності комплексу умов його розвитку правомірно чекати в майбутньому таких само властивостей і характеру розвитку, які були виявлені у минулому.

При вивченні закономірностей розвитку динамічних процесів статистика вирішує ряд завдань: вимірює інтенсивність динаміки, виявляє й описує тенденції, оцінює структурні зрушення, постійність і коливання рядів, виявляє чинники, що справляють вплив на зміни.

Кожний ряд динаміки теоретично може бути представлений у вигляді складових:

- тренд – основна тенденція розвитку динамічного ряду (до збільшення або зниження його рівнів);

- циклічні (періодичні) коливання, зокрема сезонні;

- випадкові коливання.

Вивчення тренда включає два основні етапи:

- ряд динаміки перевіряється на наявність тренда;

- проводиться вирівнювання ряду і безпосереднє виділення тренда з екстраполяцією отриманих результатів.

Перевірка на наявність тренда у ряді динаміки може здійснюватись за декількома критеріями: метода середніх, фазочастотний критерій знаків першої різниці (Валліса і Мура), критерій Кокса і Стюарта, метод серій [8]. Безпосереднє виділення тренда може бути проведене трьома методами: укрупнення інтервалів, ковзаючої середньої, аналітичного вирівнювання.

Необхідною умовою для аналізу будь-якого динамічного ряду є порівнянність його статистичних даних. Непорівнянність даних може бути зумовлена різними причинами: змінами в методології обліку і розрахунку показника, зокрема використання різних одиниць вимірювання; змінами у структурі сукупності, різними критичними моментами реєстрації даних або тривалістю періодів, до яких вони відносяться та ін.

Метод середніх. Ряд динаміки, що вивчається, розбивається на декілька інтервалів (зазвичай на два), для кожного з яких визначається середня величина ( $\bar{y}_1, \bar{y}_2$ ). Висувається гіпотеза про істотну відмінність середніх. Якщо ця гіпотеза приймається, то визнається наявність тренда.

Фазочастотний критерій знаків першої різниці (Валліса і Мура). Суть його полягає в наступному: наявність тренда в динамічному ряду приймається в тому випадку, якщо цей ряд не містить або містить у прийнятній кількості фази – зміни знаку різниці першого порядку (абсолютного ланцюгового приросту).

Критерій Кокса і Стюарта. Весь ряд динаміки, що аналізується, розбивають на три рівні за числом рівнів групи (в тому випадку, якщо кількість рівнів ряду динаміки не ділиться на три, недостатні рівні потрібно додати) і порівнюють між собою рівні першої й останньої груп.

Метод серій. За цим методом кожен конкретний рівень ряду вважається таким, що належить до одного з двох типів: наприклад, якщо рівень ряду менше медіанного значення, то вважається, що він має тип А, інакше – тип В. Тепер послідовність рівнів ряду виступає як послідовність типів. У послідовності типів, що утворилися, визначається число серій.

Серією називається будь-яка послідовність елементів однакового типу, що граничить з елементами іншого типу. Якщо в ряді загальна тенденція до зростання або зниження відсутня, то кількість серій є випадковою величиною, розподіленою приблизно за нормальним законом.

Безпосереднє виділення тренда може бути проведене трьома методами:

1. Укрупнення інтервалів. Ряд динаміки поділяють на деяку достатньо велику кількість рівних інтервалів. Якщо середні рівні за інтервалами не дозволяють побачити тенденцію розвитку явища, переходять до розрахунку рівнів за більші проміжки часу, збільшуючи довжину кожного інтервалу (одночасно зменшується кількість інтервалів).

2. Метод ковзаючої середньої. У цьому методі початкові рівні ряду замінюються середніми величинами, які отримують з даного рівня і декількох, що симетрично його оточують. Ціле число рівнів, за якими розраховується середнє значення, називають інтервалом вирівнювання. Інтервал може бути непарним (3, 5, 7 і так далі) або парним (2, 4, 6 ...).

При непарному вирівнюванні отримане середнє арифметичне значення закріплюють за серединою розрахункового інтервалу, при парному цього робити не можна. Тому при обробці ряду парними інтервалами їх штучно роблять непарними, для чого утворюють найближчий більший непарний інтервал, але з крайніх його рівнів беруть тільки 50%. Недолік методики вирівнювання ковзаючими середніми полягає в умовності визначення вирівнюваних рівнів для значень на початку і кінці ряду.

3. Аналітичне вирівнювання. Під цим розуміють визначення основної тенденції розвитку явища в часі. У результаті вирівнювання ряду отримують найбільш загальний, сумарний результат дії всіх причинних чинників. Метою аналітичного вирівнювання динамічного ряду є визначення аналітичної або графічної залежності  $f(t)$ .

На практиці за наявним рядом задають вид і знаходять параметри функції  $f(t)$ , а потім аналізують поведінку відхилень від тенденції.

### Основні і додаткові показники рядів динаміки.

При вивченні явища в часі перед дослідником постає проблема опису інтенсивності змін і розрахунку середніх показників динаміки. Вирішується вона шляхом визначення відповідних показників:

- абсолютного приросту;
- коефіцієнта зростання;
- темпу зростання;
- коефіцієнта приросту;
- темпу приросту.

У разі, коли порівняння проводиться з одним і тим самим періодом (моментом) часу (найчастіше початковим у ряді динаміки), отримують базисні показники.

Якщо ж порівняння проводиться з попереднім періодом або моментом часу, то говорять про ланцюгові показники. У табл. 1 представлені співвідношення для визначення показників динаміки.

Таблиця 1

| Показник  | Базисний                           | Ланцюговий                                 |
|---|------------------------------------|--|
| Абсолютний приріст<br>$\dot{I}_{i \dot{a} \dot{a} \dot{c}}; \dot{I}_{i \dot{e} \dot{a} \dot{i}}; \left( \dot{I}_{i \dot{a} \dot{a} \dot{c}} = \sum \dot{I}_{i \dot{e} \dot{a} \dot{i}} \right)$ | $y_i - y_0$                        | $y_i - y_{i-1}$                            |
| Коефіцієнт зростання ( $K_p$ )<br>$K_{p \dot{a} \dot{a} \dot{c}} = \dot{I}_{K_p \dot{e} \dot{a} \dot{i}}$   | $y_i / y_0$                        | $y_i / y_{i-1}$                            |
| Темп зростання ( $T_p$ )  | $(y_i / y_0) \times 100$           | $(y_i / y_{i-1}) \times 100$               |
| Коефіцієнт приросту ( $K_i \delta$ )  | $K_p - 1;$<br>$(y_i - y_0) / y_0;$ | $K_p - 1;$<br>$(y_i - y_{i-1}) / y_{i-1};$ |

|                            |                               |                                  |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                            | $\bar{I}_{i \Delta t} / y_0$  | $\bar{I}_{i \Delta t} / y_{3-1}$ |
| Темп приросту ( $T_{ip}$ ) | $K_{i \Delta t} \times 100$ ; | $K_{i \Delta t} \times 100$      |

Між ланцюговими і базисними темпами зростання існує чітко визначений зв'язок: множення відповідних ланцюгових темпів зростання дорівнює базисному останнього періоду; відношення двох базисних темпів зростання наступного і попереднього періодів є ланцюговий темп зростання наступного періоду. Знаючи базисні темпи зростання, можна обчислити ланцюгові діленням кожного наступного темпу зростання на кожний попередній.

Система середніх показників динаміки включає: середній рівень ряду, середній абсолютний приріст, середній темп зростання.

Середній рівень ряду – це показник, узагальнюючий підсумок розвитку явища за одиничний інтервал або момент наявної часової послідовності.

Розрахунок середнього рівня ряду динаміки визначається видом цього ряду і величиною інтервалу, відповідного кожному рівню.

Для інтервальних рядів з рівними періодами часу середній рівень  $\bar{y}$  розраховується таким чином:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (1)$$

Якщо в інтервальному ряді відрізки мають нерівну тривалість, то середній рівень розраховується за формулою середньої арифметичної зваженої:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n t_i}. \quad (2)$$

Середній абсолютний приріст розраховується за наступною формулою:

$$\bar{I} = \bar{I}_{i \Delta t} \cdot n. \quad (3)$$

Середній темп зростання дорівнює:

$$\bar{T}_p = \bar{K}_p \times 100, \quad (4)$$

де  $\bar{K}_p$  — середній коефіцієнт зростання, розрахований як

$$\bar{K}_p = \sqrt[n]{\bar{I}_{i \Delta t}} = \sqrt[n]{\bar{E}_{i \Delta t}}. \quad (5)$$

## 2 МЕТОД НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Метод найменших квадратів для випадку лінійної функції однієї змінної було розроблено К. Гаусом в 1794-1795 роках.

Завжди можна підібрати функцію  $y = f(x)$ , яка для кожного значення  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) давала б значення, достатньо близькі до відповідних заданим значенням  $y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) (рис.1).

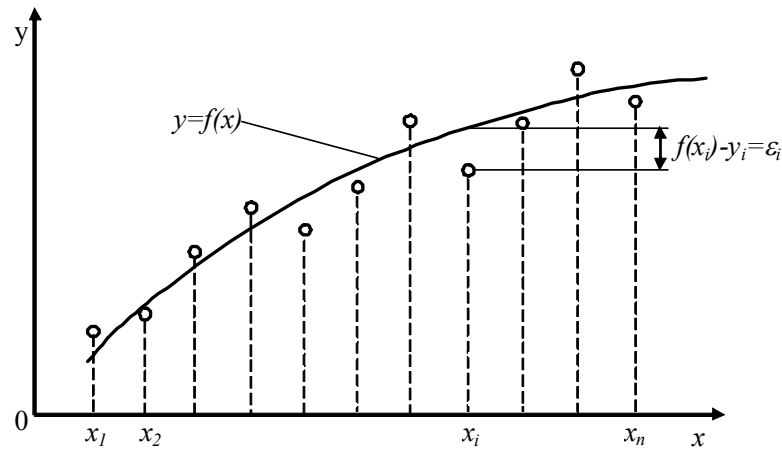


Рис. 1 – Статистичні дані розвитку явища

Перепишемо рівняння  $y = f(x)$ , підставивши замість  $x$  та  $y$  значення, які нам відомі ( $x_1, y_1; \dots, x_n, y_n$ ), та отримаємо наступні рівняння:

$$\left. \begin{aligned} f(x_1) - y_1 &= \varepsilon_1 \\ f(x_2) - y_2 &= \varepsilon_2 \\ \dots\dots\dots \\ f(x_n) - y_n &= \varepsilon_n \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Числа  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  будемо називати відхиленнями.

Найбільш точною вважається формула  $y = f(x)$ , для якої сума квадратів відхилень буде мати найменше значення, ніж у інших функцій.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 \Rightarrow \min.$$

Розглянемо у загальному виді процес визначення параметрів емпіричної формули за способом найменших квадратів. Нехай підібрано емпіричну формулу виду

$$y = f(x, a_1, \dots, a_m), \quad (7)$$

де  $x$  – незалежна змінна;

$a_1, \dots, a_m$  – параметри (постійні коефіцієнти, що входять у формулу), які потрібно визначити.

Запишемо рівняння  $y = f(x, a_1, \dots, a_m)$  наступним чином  $f(x, a_1, \dots, a_m) - y = 0$ ; підставляючи в ліву частину рівняння відомі значення  $x_i$  та  $y_i$ , отримаємо наступну систему рівнянь:



$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial U}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial U}{\partial a_2} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial U}{\partial a_m} = 0 \end{array} \right\} \quad (11)$$

Використання процедури оцінки, що базується на методі найменших квадратів, вимагає обов'язкового задоволення цілого ряду передумов, невиконання яких може призвести до значних помилок.

Випадкові помилки мають нульову середню, кінцеві дисперсії.

Кожне вимірювання випадкової похибки характеризується нульовим середнім, не залежним від значень спостережуваних змінних.

Дисперсії кожної випадкової помилки є однаковими, їх величини не залежні від значень спостережуваних змінних.

Значення похибок різних спостережень незалежні одна від одної.

Випадкові помилки мають нормальний розподіл.

Значення ендогенної змінної  $x$  є вільними від помилок вимірювання і мають кінцеві середні значення і дисперсії.

У практичних дослідженнях як модель тренда в основному використовують наступні функції:

– лінійну

$$y = ax + b; \quad (12)$$

– квадратичну

$$y = ax^2 + bx + c; \quad (13)$$

– степеневу

$$y = x^n; \quad (14)$$

– показову

$$y = a^x; \quad (15)$$

– експоненціальну

$$y = ae^x; \quad (16)$$

– логістичну

$$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}. \quad (17)$$





$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \hat{a}} &= 2[\dot{a}x_1 + \hat{a} - y_1] \cdot x_1 + 2[\dot{a}x_2 + \hat{a} - y_2] \cdot x_2 + \dots \\ &\dots + 2[\dot{a}x_n + \hat{a} - y_n] \cdot x_n; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \hat{a}} = 2[\dot{a}x_1 + \hat{a} - y_1] + 2[\dot{a}x_2 + \hat{a} - y_2] + \dots + 2[\dot{a}x_n + \hat{a} - y_n].$$

Прирівнявши отримані частинні похідні нулю та поділивши отримані рівняння на 2, отримаємо наступну лінійну систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} [\dot{a}x_1 + \hat{a} - y_1] \cdot x_1 + [\dot{a}x_2 + \hat{a} - y_2] \cdot x_2 + \dots + [\dot{a}x_n + \hat{a} - y_n] \cdot x_n &= 0, \\ [\dot{a}x_1 + \hat{a} - y_1] + [\dot{a}x_2 + \hat{a} - y_2] + \dots + [\dot{a}x_n + \hat{a} - y_n] &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (22)$$

Виконавши нескладні алгебраїчні перетворення, отримаємо наступну систему нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + \hat{a} \cdot \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \hat{a} \cdot n &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \right\}. \quad (23)$$

Розв'язок системи нормальних рівнянь (23) має наступний вид:

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad \hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i x_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (24)$$

Важливим моментом отримання прогнозу за допомогою методу найменших квадратів є оцінка достовірності отриманого результату.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня 20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 3**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

Тема: **«Комплексні системи прогнозування»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути основи кореляційно-регресійного аналізу.

**Загальні методичні вказівки**

1. Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
2. Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
3. Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Вступ.....                          | 5 хв.  |
| 1 Рівняння регресійної моделі.....  | 20хв.  |
| 2 Парний регресійний аналіз.....    | 25 хв. |
| 3 Коефіцієнт кореляції.....         | 10 хв. |
| 4 Множинний регресійний аналіз..... | 15 хв. |
| Висновок .....                      | 5 хв.  |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
2. Крянев А.В., Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
3. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Дело, 1987. – 239 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций.– М.: Советское радио, 2001. – 208 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

Явища, які у випадку подій масового характеру відрізняються певною закономірністю, проте не виявляються на основі одиничного спостереження, називаються **масовими явищами**. Саме така закономірність називається статистичною закономірністю.

Статистична закономірність спостерігається в тих випадках, коли:

- а) у досліджуваному процесі діє один загальний комплекс причин;
- б) разом з цим, у кожному окремому випадку діють особливі додаткові причини, кожний раз інші.

При цьому самі причини, які визначають масові процеси, прийнято ділити на дві категорії:

- основні причини, які діють у всіх випадках;
- побічні (вторинні) причини, які виявляються тільки в окремих випадках.

Статистична закономірність має місце тоді, коли існує поєднання основних та побічних причин. Основні причини обумовлюють саме існування такої закономірності, а побічні причини визначають її відносну приблизність. Іншими словами, закономірність проявляється тільки в загальній масі випадків, а окремий випадок може відхилитись від загалу.

З наведеного вище стає зрозумілим, що статистичний аналіз виявляється корисним в тих випадках, коли доводиться аналізувати процеси, які при масовому спостереженні здатні проявляти очевидну закономірність. Якби діяли тільки головні причини, без накладення другорядних, то всі окремі випадки були б абсолютно однакові, і не виникло б потреби аналізувати всю їх масу. Досить було б досліджувати один з випадків і на його основі зробити висновки, що відносяться вже до всієї досліджуваної сукупності.

Там, де закономірність пробивається через результати дії побічних причин, доводиться вивчати вже цілу масу випадків, щоб мати можливість виявити закономірність. У такій ситуації дослідження одиничного прикладу може привести до помилкових висновків.

**У масових процесах зазвичай розрізняють два елементи:** систематичний (постійний) і випадковий (побічний). Систематичний елемент є результатом дії основних причин, випадковий елемент - наслідок дії побічних причин (їх поєднання і дія виявляються по-різному у кожному окремому випадку). Статистична закономірність виявляється виразніше у разі дії **закону великих чисел**. Цей закон відображає закономірності, властиві випадковим подіям масового характеру. При великій кількості спостережень вплив випадкових чинників взаємно врівноважується, і вступають в дію головні причини, які відбиваються в деякій постійності середніх чисел.

Для виконання закону великих чисел важливо дотримати певні умови:

- а) досліджуваний масив повинен бути однорідним, бути однакової якості. Це означає, що всі елементи масиву потрапляють під дію одних і тих же основних причин. Інакше можуть виникнути інші основні чинники, і тоді виявити загальну картину виявиться неможливим.

Однорідність даної статистичної маси не можна встановити на основі статистичного дослідження. Для цього потрібний якісний аналіз, який проводиться методами, що використовуються у відповідних областях науки (фізиці, економіці та ін.);

- б) побічні причини, що впливають на різні елементи масиву, повинні бути незалежними або мало залежними один від одного. Таким чином, не може бути коректної статистики там, де немає достатньо:

- багаточисельних;
- однорідних;
- незалежних даних.

Якщо ця умова не дотримана, то відсутня і коректна статистика.

Знання статистики допомагає нам прийняти оптимальні рішення. При цьому статистика зовсім не відкидає досвід і інтуїцію дослідника. Її можна розглядати як один з компонентів процесу прийняття рішення, але зовсім не як весь процес. Тому є підстави вважати, що статистика доповнює, але не замінює діловий досвід, здоровий глузд і інтуїцію людини.

Залежність однієї випадкової величини від значень, які приймає інша випадкова величина (фізична характеристика), в статистиці називається **регресією**. Якщо цій залежності надано аналітичного вигляду, то таку форму уявлення зображають рівнянням регресії.

Процедура пошуку передбачуваної залежності між різними числовими сукупностями зазвичай включає наступні етапи:

- встановлення значущості зв'язку між ними;
- можливість представлення цієї залежності у формі математичного виразу (рівняння регресії).

Перший етап у вказаному статистичному аналізі стосується виявлення так званої кореляції, або кореляційної залежності. **Кореляція** розглядається як ознака, що вказує на взаємозв'язок ряду числових послідовностей. Інакше кажучи, кореляція характеризує силу взаємозв'язку в даних. Якщо це стосується взаємозв'язку двох числових масивів  $x_i$  і  $y_i$ , то таку кореляцію називають парною. При пошуку кореляційної залежності зазвичай виявляється ймовірний зв'язок однієї величини  $x$  (для якогось обмеженого діапазону її зміни, наприклад від  $x_1$  до  $x_n$ ) з іншою величиною  $y$ , що також змінюється в деякому інтервалі  $(y_1, y_n)$ . У такому разі ми матимемо справу з двома числовими послідовностями, між якими і належить встановити наявність статистичного (кореляційного) зв'язку. На цьому етапі поки не ставиться завдання визначити, чи є одна з цих випадкових величин функцією, а інша – аргументом. Відшукання кількісної залежності між ними у формі конкретного аналітичного виразу  $y = f(x)$  – це завдання вже іншого аналізу, регресійного.

Таким чином, кореляційний аналіз дозволяє зробити висновок про силу взаємозв'язку між парами даних  $x$  і  $y$ , а регресійний аналіз використовується для прогнозування однієї змінної ( $y$ ) на підставі іншої ( $x$ ).

Іншими словами, в цьому випадку намагаються виявити причинно-наслідковий зв'язок між аналізованими сукупностями.

Прийнято розрізняти два види зв'язку між числовими сукупностями – це може бути функціональна залежність або ж статистична (випадкова). За наявності функціонального зв'язку кожному значенню чинника, що впливає (аргументу), відповідає певна величина іншого показника (функції), тобто зміна результативної ознаки цілком обумовлена дією факторної ознаки.

Аналітично функціональна залежність представляється в наступному вигляді:  
$$y = f(x).$$

У разі статистичного зв'язку значенню одного чинника відповідає деяке наближене значення досліджуваного параметра, його точна величина є непередбачуваною, не прогнозованою, тому отримувані показники виявляються випадковими величинами. Це означає, що зміна результативної ознаки  $y$  обумовлена впливом факторної ознаки  $x$  лише частково, оскільки можлива дія і інших чинників, внесок яких позначений як:  
$$y = f(x) + \varepsilon.$$

За своїм характером кореляційні зв'язки – це співвідносні зв'язки.

Для кількісної оцінки існування зв'язку між сукупностями випадкових величин, що вивчаються, використовується спеціальний статистичний показник – коефіцієнт кореляції  $r$ .

Якщо передбачається, що цей зв'язок можна описати лінійним рівнянням типу  $y = a + bx$  (де  $a$  і  $b$  – константи), то прийнято говорити про існування лінійної кореляції.

Коефіцієнт  $r$  – це безрозмірна величина, вона може змінюватися від 0 до  $\pm 1$ . Чим ближче значення коефіцієнта до одиниці (неважливо, з яким знаком), тим з більшою упевненістю можна стверджувати, що між двома даними сукупностями змінних існує лінійний зв'язок. Іншими словами, значення однієї з цих випадкових величин ( $y$ ) істотним чином залежить від того, яке значення приймає інша ( $x$ ). Випадок, коли  $r = 1$ , свідчить про те, що має місце класичний випадок чисто функціональної залежності (тобто реалізується ідеальний взаємозв'язок).

Якщо між парами сукупностей є цілком очевидний зв'язок, то, не розглядаючи стадію кореляції, можна відразу приступати до пошуку рівняння регресії.

Якщо ж дослідження стосуються якогось нового процесу, що раніше не вивчався, то наявність зв'язку між сукупностями є предметом спеціального пошуку.

При цьому умовно можна виділити методи, які дозволяють оцінити наявність зв'язку якісно, і методи, що дають кількісні оцінки. Щоб виявити наявність якісного кореляційного зв'язку між двома досліджуваними числовими наборами експериментальних даних, існують різні методи, які прийнято називати елементарними.

Ними можуть бути прийоми, засновані на наступних операціях:

- паралельному зіставленні рядів;
- побудові кореляційної і групової таблиць;
- графічному зображенні за допомогою поля кореляції.

## 1. РІВНЯННЯ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ

Нехай існує  $p$  незалежних змінних  $X_1, X_2, \dots, X_p$  і залежна змінна  $Y$ . Оскільки змінна  $Y$  є випадковою величиною, то при заданих значеннях факторів вона має деякий розподіл. Якщо випадкова величина  $Y$  неперервна, то можна вважати, що її розподіл при кожному припустимому наборі значень факторів  $(x_1, \dots, x_p)$  має умовну щільність розподілу  $f_{x_1, \dots, x_p}(y)$ . Найчастіше передбачається, що умовний розподіл  $Y$  для кожного припустимого набору значень факторів – нормальний. Пояснюючі змінні  $X_1, X_2, \dots, X_p$  можуть розглядатися як випадкові, так і детерміновані, тобто такі, що приймають певні значення. В класичній прогностичній моделі вони вважаються детермінованими.

Пояснена частина  $\hat{y}(X_1, \dots, X_p)$  являє собою функцію від значень факторів. Таким чином, прогностична модель має вигляд:

$$Y = \hat{y}(X_1, \dots, X_p) + \varepsilon.$$

Найбільш природним вибором поясненої частини випадкової величини  $Y$  є її середнє значення – умовне математичне очікування  $M_X[Y]$ , що визначається при даному наборі пояснюючих змінних. Рівняння  $M_X[Y] = f(x_1, \dots, x_p)$  називається рівнянням регресії. У цьому випадку прогностична модель має вигляд

$$Y = M_X[Y] + \varepsilon, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – випадкова величина, що називається похибкою або помилкою. Рівняння (1) називається рівнянням регресійної моделі.

Відзначимо деякі властивості регресійної моделі. Знайдемо математичне очікування від обох частин виразу (3.33):

$$M_X[Y] = M_X[M_X[Y]] + M_X[\varepsilon] \Rightarrow M_X[Y] = M_X[Y] + M_X[\varepsilon] \Rightarrow M_X[\varepsilon] = 0. \quad (2)$$

Отже, у регресійній моделі очікуване значення випадкової помилки дорівнює нулю. Звідси витікає вимога некорельованості випадкових помилок і пояснюючих змінних.

Для того щоб знайти пояснену частину  $\hat{y}(X_1, \dots, X_p) = M_X[Y]$ , необхідно знати умовні розподіли випадкової величини  $Y$ . Але слід зауважити, що на практиці знайти точне значення поясненої частини неможливо.

У таких випадках застосовується стандартна процедура згладжування експериментальних даних. Вона складається із двох етапів:

- 1) визначається тип функції  $M_X[Y]$  (лінійна, показова і т.д.);
- 2) знаходять оцінки параметрів цієї функції за допомогою одного з методів математичної статистики.

Формально жодних способів вибору типу функції не існує. Однак у більшості випадків прогнозні моделі є лінійними. Крім простоти, для такого вибору існують дві причини.

По-перше, якщо випадкова величина  $(X, Y)$  має спільний нормальний розподіл, то її рівняння регресії є лінійним. По-друге, лінійна регресійна модель має менший ризик значної помилки прогнозу.

Надалі ми будемо розглядати лінійні регресійні моделі. Найбільш вивченими є такі лінійні регресійні моделі, у яких виконується умова (2). Вони називаються класичними моделями.

## 2. ПАРНИЙ РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Як було показано в попередньому розділі, задача прогнозу пов'язана з розглядом регресійної моделі  $Y = M_X[Y] + \varepsilon$ . Однак, оскільки одержання рівняння регресії  $M_X[Y] = f(x_1, \dots, x_p)$  потребує досить значної вибірки як пояснюючих, так і залежних змінних (що практично неможливо), то намагаються визначити криву або поверхню, яка зв'язує вхідні та вихідні змінні, наближеними методами. Ці методи одержали назву регресійного аналізу.

*Таким чином, задачею регресійного аналізу є встановлення форми залежності між змінними, оцінка функції регресії, прогноз невідомих значень залежної змінної.*

Природно, що кількість факторних змінних  $X$  може бути довільною. Чим їх більше, тим складніше проведення регресійного аналізу. Тому спочатку розглянемо випадок, коли вхідна змінна або фактор один. У цьому випадку говорять про парний регресійний аналіз або однофакторну модель.

З курсу математичного аналізу відомо, що в цьому випадку мова йде про функціональну залежність, тобто коли кожному значенню однієї або декількох незалежних змінних (аргументів) ставлять у відповідність одне й тільки одне значення функції.

Необхідно відзначити, що в більшості випадків кожному значенню вхідної або факторної змінної відповідає множина можливих значень залежної змінної. З точки зору математичної статистики, кожному значенню вхідної змінної відповідає певний розподіл результативної змінної. Така залежність одержала назву **статистичної або стохастичної**.

Поява статистичного зв'язку пояснюється наявністю в будь-якій задачі прогнозування цілого ряду неврахованих або неконтрольованих факторів, які неминуче



приводять до наявності помилок. Тому, при розв'язанні задачі прогнозування розглядають усереднення залежної змінної  $Y$  по фактору  $X$ . Інакше кажучи, знаходять умовне математичне очікування  $M_x[Y]$ , тобто математичне очікування результативної змінної  $Y$  за умови, що фактор  $X$  прийняв конкретне значення  $x$ .

**Якщо кожному значенню факторної змінної відповідає умовне математичне очікування залежної змінної, то така статистична залежність називається кореляційною.**

Оскільки для кожного значення  $X$  умовне математичне очікування  $M_x[Y]$  буде приймати нове значення, тобто буде залежати від величини  $x$ , то, як відомо з математичної статистики, кореляційна залежність може бути представлена у вигляді

$$M_x[Y] = \varphi(x), \quad (3)$$

де  $\varphi(x) \neq \text{const}$ .

Рівняння (3) називається модельним рівнянням регресії, функція  $\varphi(x)$  – модельною функцією регресії, а її графік – модельною лінією регресії.

Для одержання точного модельного рівняння регресії необхідно для кожного значення параметра  $X$  знати умовний закон розподілу вихідної змінної  $Y$ . На практиці така інформація, як правило, відсутня. Найчастіше дослідник має лише вибірку пар значень  $(x_i, y_i)$  обмеженого об'єму  $n$ . У цьому випадку мова може йти лише про оцінку або наближене значення функції регресії. Такою оцінкою є вибіркова лінія регресії

$$\hat{y} = \hat{\varphi}(x, b_0, b_1, \dots, b_p), \quad (4)$$

де  $\hat{y}$  – вибіркова умовна середня результативної змінної  $Y$  при фіксованому значенні фактору  $X = x$ ,  $b_0, b_1, \dots, b_p$  – параметри кривої. На відміну від (3) рівняння (4) називається вибірковим рівнянням регресії. Якщо наближене значення функції  $\hat{\varphi}(x, b_0, b_1, \dots, b_p)$  обрано правильно, то зі збільшенням об'єму вибірки воно повинно наближатися до модельної функції регресії  $\varphi(x)$ .

У якості приклада розглянемо статистичну залежність, що представлена в табл. 1.

Таблиця 1

|       |   |    |    |   |   |   |   |   |   |    |
|-------|---|----|----|---|---|---|---|---|---|----|
| $i$   | 1 | 2  | 3  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $x_i$ | 8 | 11 | 12 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 | 12 |
| $y_i$ | 5 | 10 | 10 | 7 | 5 | 6 | 6 | 5 | 6 | 8  |

Графічна інтерпретація даної залежності наведена на рис. 1.

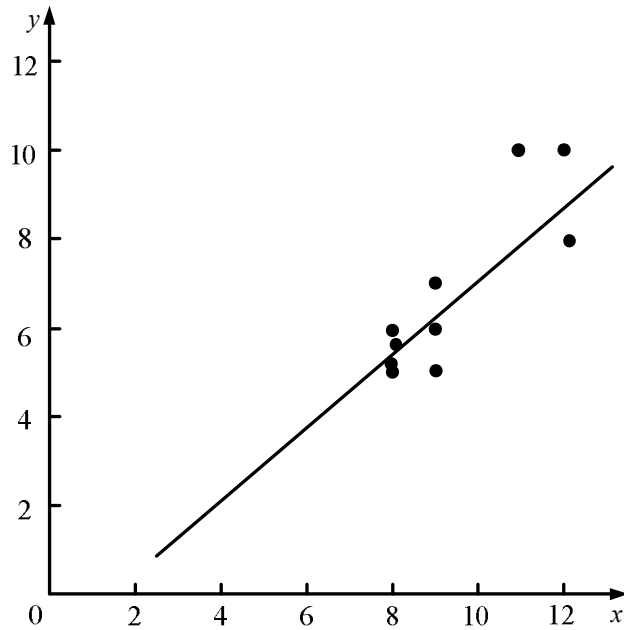


Рис. 1

Точки, що зображують статистичну залежність вихідної змінної від факторів, називаються полем кореляції. По розташуванню емпіричних точок можна припустити наявність лінійної кореляційної залежності між змінними  $X$  та  $Y$ . Тому вибіркове рівняння регресії будемо шукати у вигляді лінійного рівняння

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x. \quad (5)$$

Оскільки, незалежно від конкретної задачі прогнозування, загальний вид рівняння лінійної регресії є незмінним, то з'ясуємо, яким чином можна знаходити невідомі параметри рівняння  $b_0$  та  $b_1$ .

### 3 КОЕФІЦІЄНТ КОРЕЛЯЦІЇ

Розглянемо, яким чином можна оцінювати тісноту кореляційної залежності між  $X$  і  $Y$ . Коефіцієнт регресії  $b_1$  для цієї мети є непридатним. Незважаючи на те, що він показує, на скільки одиниць у середньому зміниться  $Y$  при збільшенні  $X$  на одну одиницю, у цього коефіцієнта є істотний недолік: він залежить від одиниць виміру. Тому для оцінки тісноти кореляційної залежності між  $X$  і  $Y$  використовують наступний підхід.

Перетворимо рівняння (3.41) наступним чином:

$$\frac{\hat{y} - \bar{y}}{\sigma_y} = b_1 \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \frac{(x - \bar{x})}{\sigma_x}. \quad (6)$$

У даному виразі величина

$$r_{xy} = b_1 \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad (7)$$

показує, на скільки одиниць  $\sigma_y$  зміниться в середньому  $Y$ , якщо  $X$  зміниться на одне  $\sigma_x$ . Величина  $r_{xy}$  є показником тісноти зв'язку між змінними і називається **вбірковим коефіцієнтом кореляції**.

На рис. 2 а) та рис. 2б) наведені дві кореляційні залежності  $Y$  від  $X$ . Очевидно, що в першому випадку кореляційна залежність сильніше і коефіцієнт кореляції більше. Якщо  $r_{xy} > 0$ , то кореляційний зв'язок є прямим, якщо  $r_{xy} < 0$  – зворотнім.

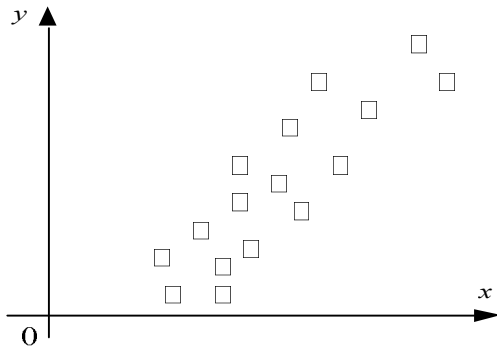


Рис. 2 а)

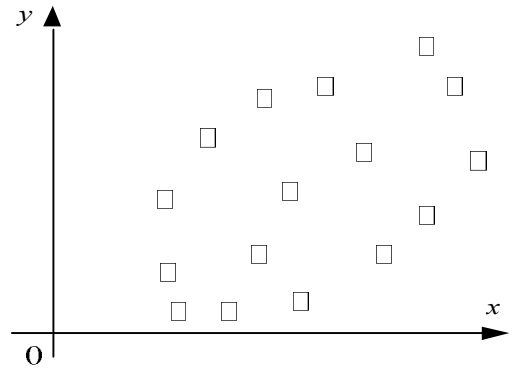


Рис. 2 б)

$$\begin{aligned}
 r_{xy} &= \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)}{\sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \right)^2 \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \left( \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)^2 \right)}} \\
 &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

#### 4 МНОЖИННИЙ РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Як було показано вище, у найпростіших випадках задач прогнозування результуюча змінна  $Y$  залежить тільки від однієї пояснюючої змінної  $X$ , і ця залежність може бути описана за допомогою парної регресійної моделі. Однак у реальних задачах розвитку певних об'єктів, явищ та процесів, як правило, залежить від сукупності декількох діючих факторів. Тому виникає необхідність дослідження залежності однієї результуючої змінної  $Y$  від декількох пояснюючих змінних  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Ця задача розв'язується за допомогою множинного регресійного аналізу.

Нехай проведено  $n$  спостережень залежної змінної  $Y$  і факторів  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Тоді, за аналогією з парною лінійною регресією, модель множинної лінійної регресії можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} Y &= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \Rightarrow \\ \Rightarrow y_i &= \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i. \end{aligned} \quad (9)$$

Дана модель називається класичною нормальною лінійною моделлю множинної регресії.

Оскільки в регресійну модель у цьому випадку включається декілька пояснюючих змінних, то для розв'язання задач, пов'язаних з нею, доцільно використовувати матричні позначення.

Введемо наступні позначення:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_p \end{pmatrix}, \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}, \quad (10)$$

де  $Y$  – матриця-стовпець розміру  $n \times 1$  значень результуючої змінної;  $X$  – матриця розміру  $n \times (p+1)$  значень пояснюючих змінних (матриця плану);  $\beta$  – матриця-стовпець розміру  $p+1$  параметрів регресійної моделі;  $\varepsilon$  – матриця-стовпець розміру  $n \times 1$  похибок (випадкових помилок, залишків).

Тоді в матричній формі класична нормальна лінійна модель множинної регресії прийме вигляд:

$$Y = X \beta + \varepsilon. \quad (11)$$

У матрицю  $X$  введений додатковий стовпець або фіктивний змінна  $X_0$ , всі елементи якої дорівнюють одиниці, для того, щоб при множенні  $X$  на  $\beta$  в моделі множинної регресії одержати доданок  $\beta_0$ .

Так само як і у випадку парного регресійного аналізу, оцінкою моделі (3.51) на підставі вибірки є рівняння

$$Y = X b + e, \quad (12)$$

де матриця-стовпець  $b$  є оцінкою  $\beta$  з тими ж розмірами  $p+1$ , матриця-стовпець  $e$  – оцінкою  $\varepsilon$  з тими ж розмірами  $n \times 1$ .

Аналогічно до випадку парної лінійної регресії, для визначення матриці-стовпця  $b$  застосуємо метод найменших квадратів.

Оскільки у випадку множинної регресійної моделі рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{Y} = X b, \quad (13)$$

то матриця-стовпець  $e$  визначається співвідношенням  $e = Y - \hat{Y} = Y - X b$ .

Скористаємося властивістю добутку транспонованої матриці-стовпця  $e^T$  на саму матрицю  $e$ :

$$e^T e = (e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n) \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{pmatrix} = e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2.$$

Тоді умова мінімізації квадратів відхилень емпіричних значень  $y_i$  від значень  $\hat{y}_i$ , знайдених з рівняння регресії (1), запишеться у вигляді:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e^T e = (Y - Xb)^T (Y - Xb) \rightarrow \min. \quad (14)$$

Перемножимо в (14) вирази у дужках, скориставшись властивістю матриць  $(Xb)^T = b^T X^T$ . Це дасть наступний результат:

$$S = Y^T Y - Y^T Xb - b^T X^T Y + b^T X^T Xb. \quad (15)$$

У даному виразі матриця  $Y^T Xb$  має розмір  $(1 \times n)[n \times (p+1)][(p+1) \times 1]$ , тобто  $1 \times 1$ . Оскільки транспонування подібної матриці її не змінить, то  $Y^T Xb = (Y^T Xb)^T = b^T X^T Y$ . Таким чином, остаточно маємо умову мінімізації квадратів відхилень у вигляді:

$$S = Y^T Y - 2b^T X^T Y + b^T X^T Xb \rightarrow \min. \quad (16)$$

У вираженні (16) матриці  $X$  та  $Y$  відомі, тому що їхні елементи одержують у результаті експерименту. Отже, зміна  $S$  залежить лише від невідомої матриці  $b$ . Але для визначення екстремуму функції декількох змінних  $S(b_0, b_1, \dots, b_p)$  необхідно її часткові похідні по цим змінним прирівняти нулю. У матричній формі це буде мати наступний вигляд:  $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$ .

Скориставшись правилами матричного диференціювання  $\frac{\partial(b^T c)}{\partial b} = c$ , де  $c$  – матриця-стовпець, і  $\frac{\partial(b^T Ab)}{\partial b} = 2Ab$ , де  $A$  симетрична матриця, та позначаючи  $c = X^T Y$ ,  $A = X^T X$ , знаходимо вираз:

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2X^T Y + 2X^T Xb = 0. \quad (17)$$

Звідси одержуємо матричне рівняння або, що те ж саме, систему нормальних рівнянь у матричній формі:

$$X^T Xb = X^T Y. \quad (18)$$

Обчислимо матриці  $X^T X$  і  $X^T Y$ , що входять в (3.58):

$$X^T X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1p} & x_{2p} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n & \sum x_{i1} & \dots & \sum x_{ip} \\ \sum x_{i1} & \sum x_{i1}^2 & \dots & \sum x_{i1} x_{ip} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_{ip} & \sum x_{i1} x_{ip} & \dots & \sum x_{ip}^2 \end{pmatrix}, \quad (19)$$

$$X^T Y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1p} & x_{2p} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i x_{i1} \\ \dots \\ \sum y_i x_{ip} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

У тому випадку, коли  $p=1$ , тобто фактор один, з (18) - (20) можна одержати систему нормальних рівнянь однофакторної моделі для визначення  $b_0$  і  $b_1$ .

Як відомо з лінійної алгебри, розв'язком матричного рівняння (18) буде матриця-стовпець

$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (21)$$

де  $(X^T X)^{-1}$  – зворотна матриця. Знайти дану зворотну матрицю можна лише в тому випадку, коли вихідна матриця  $X^T X$  – невинороженою, тобто її визначник не дорівнює нулю. Отже, ранг матриці повинен дорівнювати її порядку:  $rg(X^T X) = p + 1$ . З лінійної алгебри відомо, що в цьому випадку і  $rg(X) = p + 1$ . Але це можливо лише тоді, коли стовпці матриці  $X$  лінійно незалежні. Ця умова автоматично висуває вимогу до кількості рядків матриці  $X$ , тобто до числа спостережень над пояснюючими і результуючими змінними: їх повинно бути не менше кількості стовпців, тобто  $n \geq p + 1$ . У протилежному випадку ранг матриці стане менше  $p + 1$  і матричне рівняння розв'язати буде неможливо. На практиці для одержання надійних статистичних результатів беруть  $n > p + 1$ .

Таким чином, знаючи матрицю-стовпець  $b$  із рівняння множинної регресії (13) можна знайти значення  $\hat{Y}$  для кожного конкретного набору значень пояснюючої змінної  $X$ .

У тому випадку, коли необхідно провести порівняння впливу на залежну змінну різних пояснюючих змінних, використовують, наприклад, стандартизований коефіцієнт еластичності  $E_j$ :

$$E_j = b_j \frac{\bar{x}_j}{\bar{y}}. \quad (22)$$

Стандартизований коефіцієнт еластичності  $E_j$  показує, на скільки відсотків зміниться в середньому  $Y$  при збільшенні  $X_j$  на 1%.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня 20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 4**  
з навчальної дисципліни  
**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

Тема: «Моделі впливу надзвичайних ситуацій. Закони руйнування споруд та ураження людей»

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути моделі впливу надзвичайних ситуацій та закони руйнування споруд та ураження людей.

**Загальні методичні вказівки**

- 1.Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
- 2.Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
- 3.Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|  |        |
|--|--------|
| Вступ. ....  | 5 хв.  |
| 1. Основи прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій..... | 15 хв. |
| 2. Моделі впливу вражаючих факторів НС.....                  | 20хв.  |
| 3 Закони руйнування споруд.....                              | 20 хв. |
| 4. Закони руйнування ураження людей .....                    | 10 хв. |
| Висновок .....   | 10 хв. |

#### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко И.Н. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Киев. 2000 г.
2. Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минав Э.С. и др. Рабочая книга по прогнозированию.- М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек:навч.посіб. / В.А.Андронов, А.С.Рогозін, О.М.Соболь, Р.І.Шевченко. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – 264 с.

# ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

## 1 Основи прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій

В основу математичних моделей прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру покладений причинно-наслідковий зв'язок двох процесів: дії вражаючих чинників на об'єкт і опір самого об'єкту цій дії. Обидва процеси носять чітко виражений випадковий характер.

Наприклад, внаслідок того, що неможливо заздалегідь достовірно визначити, яка інтенсивність коливання земної кори діятиме в районі розташування будівлі або яка величина тиску у фронті повітряної ударної хвилі діятиме на споруду. Ці вражаючі чинники з різною ймовірністю можуть приймати різні значення.

Крім того, навіть при однаковому впливі вражаючого фактору на будівлі, існуватиме деяка ймовірність їх руйнування. На ймовірність руйнування будівель впливає неоднорідність міцності матеріалів, відхилення будівельних елементів від проектних розмірів, відмінність умов виготовлення елементів та інші чинники.

Ураження людей залежатиме як від перерахованих чинників, так і від ряду інших випадкових подій. Зокрема, від ймовірності розміщення людей в зоні ризику, щільності розселення в межах населеного пункту і ймовірності ураження людей уламками при отриманні будівлями певного ступеня ушкодження.

Отже, можна зробити висновок про те, що для оцінки наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, необхідно застосовувати імовірнісний підхід.

Назвемо основні фактори, що впливають на наслідки надзвичайних ситуацій:

- інтенсивність дії вражаючих факторів;
- розміщення населеного пункту відносно осередку надзвичайної ситуації;
- характеристика ґрунтів;
- конструктивні рішення та міцнісні властивості будівель і споруд;
- щільність забудови і розселення людей в межах населеного пункту;
- розміщення людей в будівлях протягом доби та в зоні ризику протягом року.

Перераховані характеристики коротко називають просторово-часовими факторами.

У якості вражаючого фактора при розрахунку наслідків НС приймають той фактор, що викликає основні руйнування та ураження.

Вражаючі фактори НС техногенного і природного характеру і їх основні параметри наведено в табл.1.

Таблиця 1

Вражаючі фактори і їх основні параметри

| Вид НС            | Вражаючий чинник            | Параметр  |
|-------------------|-----------------------------|---|
| Землетрус         | Уламки будівель і споруд    | Інтенсивність землетрусу  |
| Вибухи            | Повітряна ударна хвиля      | Надмірний тиск у фронті повітряної ударної хвилі  |
| Пожежі            | Теплове випромінювання      | Щільність теплового потоку  |
| Прорив дамб       | Хвиля цунамі; хвиля прориву | Висота хвилі; максимальна швидкість хвилі; площа і тривалість затоплення; тиск гідравлічного потоку |
| Радіаційні аварії | Радіаційне зараження        | Дози опромінювання  |
| Хімічні аварії    | Токсичні навантаження       | Гранично допустима концентрація, токсична доза  |

## Моделі впливу вражаючих факторів НС

Вплив, пов'язаний з надзвичайними ситуаціями (НС) техногенного і природного характеру описується у вигляді аналітичних, табличних або графічних залежностей. Ці залежності дозволяють визначити інтенсивність вражаючих факторів тієї або іншої надзвичайної ситуації в заданій точці. Залежності, що визначають поля вражаючих факторів при прогнозуванні наслідків НС, називають моделями впливу, маючи на увазі те, що вони характеризують інтенсивність і масштаб впливу.

Розрахункові випадки можна звести до наступних типів моделей впливу:

1. Детермінована модель (базується на інформації про НС, що відбулася. Характерними параметрами цієї моделі є координати осередку НС, інтенсивність або потужність дії, час).

2. Ймовірнісна модель (в даному випадку є заданою функція  $F(x, y, \Phi)$  - функція розподілу випадкової величини  $\Phi$ , що являє собою інтенсивність вражаючого фактору, характерного для даної надзвичайної ситуації (рис. 3.7, а), або функція  $f(x, y, \Phi)$ , - щільність розподілу випадкової величини  $\Phi$ , рис. 3.7, б. Тут  $(x, y)$  - координати заданої точки).

3. Вплив може характеризуватися статистичним матеріалом за даними натурних спостережень в регіоні. Ці моделі характерні, наприклад, для повеней. Зазвичай ці моделі приводяться у вигляді таблиці.

4. Інтенсивність дії може бути задана на підставі спостережень і завчасно проведених розрахунків (карта сейсмічного районування території). Для сейсмонебезпечних регіонів складені карти детального сейсмічного районування, а для міст проведене мікросейсморайонування. При мікросейсморайонуванні визначається сейсмічність окремих майданчиків (кварталів) в межах міста. Зазвичай ці моделі приводяться в графічному вигляді (у формі ізоліній на картах) або в табличному вигляді.

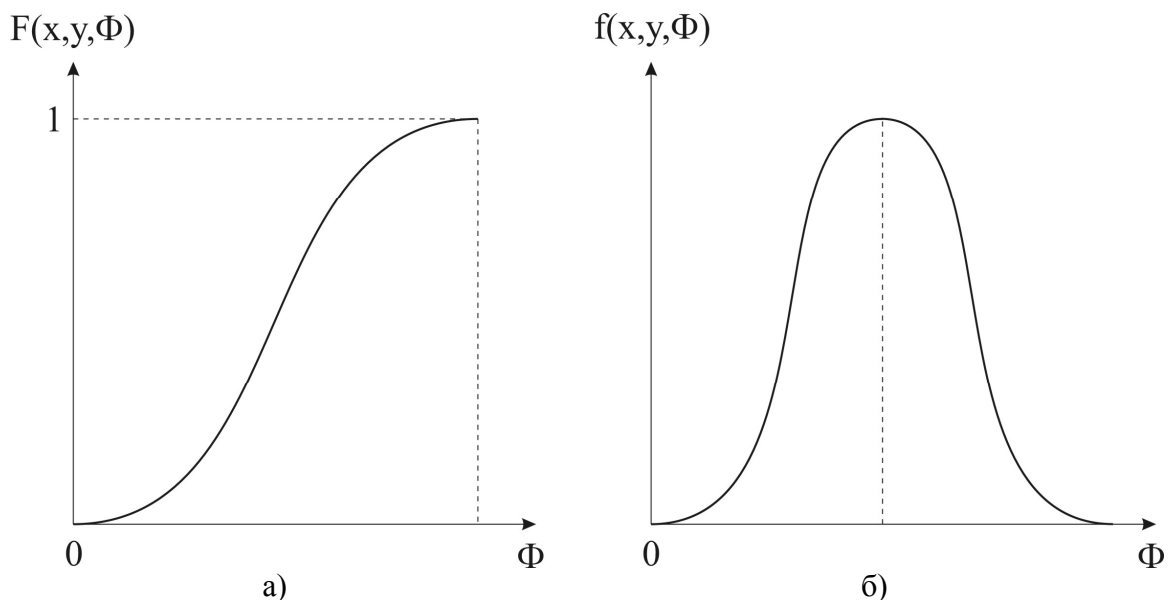


Рис. 3.7. Закони розподілу вражаючих факторів

Необхідно зазначити, що надалі будемо розглядати ймовірнісні моделі впливу вражаючих факторів надзвичайних ситуацій. Функція розподілу  $F(x, y, \Phi)$  випадкової величини, характерної для деякої НС, являє собою ймовірність того, що випадкова величина  $\Phi$  в точці з координатами  $(x, y)$  прийматиме значення не вище заданої величини  $\Phi_\zeta$ :

$$F(x, y, \Phi) = P(\Phi \leq \Phi_\zeta).$$

У якості випадкової величини розглядають параметри чинників ураження (табл. 3.3).

Функція розподілу  $F(x, y, \Phi)$  має наступні властивості:

- $F(x, y, \Phi)$  є зростаючою функцією;
- $F(x, y, -\infty) = 0$ ;
- $F(x, y, +\infty) = 1$ .

Щільність ймовірності  $f(x, y, \Phi)$  дорівнює похідній від функції розподілу  $F(x, y, \Phi)$ :

$$f(x, y, \Phi) = F'(x, y, \Phi), \quad (1)$$

і навпаки,  $F(x, y, \Phi)$  виражається через щільність  $f(x, y, \Phi)$  інтегралом вигляду:

$$F(x, y, \Phi) = \int_{-\infty}^{\Phi} f(x, y, t) dt, \quad (2)$$

де  $t$  - змінна інтегрування.

Основна властивість щільності ймовірності  $f(x, y, \Phi)$  - це рівність 1 площі, яка обмежена функцією і віссю  $\Phi$  (рис. 3.7, б).

Функції розподілу  $F(x, y, \Phi)$  чинників ураження і щільності розподілу  $f(x, y, \Phi)$  визначають на основі статистичної обробки результатів спостережень або розрахунковим шляхом.

### **Закони руйнування споруд**

Процес опору впливу описується законами руйнування і ураження  $F(\Phi)$ .

Закони руйнування характеризують уразливість споруд, а закони ураження - уразливість людей в зонах НС. Ці терміни є основними при прогнозуванні наслідків НС.

Під законами руйнування споруди розуміють залежність між ймовірністю її ушкодження і відстанню до споруди або інтенсивністю прояву чинника ураження.

Якщо ця залежність від відстані, то закон називають координатним законом руйнування (рис. 2, а). У випадку, коли залежність отримують від фактора ураження, закон називають параметричним законом руйнування (рис. 3.8, б). При оцінці наслідків НС в системі цивільного захисту найбільше розповсюдження отримали параметричні закони руйнування.

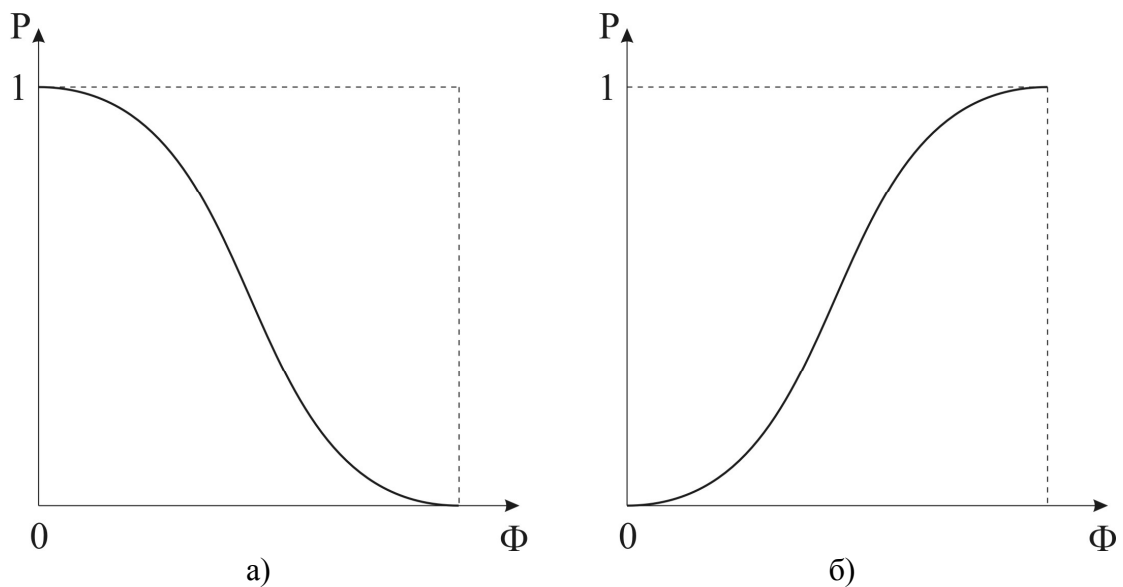


Рис. 2. Координатний (а) і параметричний (б) закони руйнування (ураження):  
 $P$  – ймовірність руйнування;  $R$  – відстань від осередку НС до об'єкта;  
 $\Phi$  – інтенсивність чинника ураження

Закони руйнування споруд отримують на основі аналізу і узагальнення статистичних матеріалів по руйнуванню житлових і промислових будівель від дій чинників ураження. Якщо статистичні матеріали по руйнуванню окремих типів споруд відсутні, то закони руйнування можуть бути отримані розрахунковими методами.

Знаходять застосування параметричні закони руйнування двох типів:

- ймовірність настання не менш певного ступеня руйнування (ушкодження) споруд -  $P_{A_i}(\Phi)$ ;
- ймовірність настання певного ступеня руйнування (ушкодження) споруд -  $P_{B_i}(\Phi)$ .

Для побудови кривої, що апроксимує ймовірність настання не менш певного ступеня руйнування (ушкодження) споруд, зазвичай використовується нормальний закон. При цьому враховується, що для однієї і тієї ж споруди може розглядатися не один, а декілька ступенів руйнування.

Обчислення значень ймовірності  $P_{A_i}(\Phi)$  найчастіше проводиться по формулі нормального закону:

$$P_{A_i}(\Phi) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_0^{\Phi} e^{-\frac{(\bar{\Phi} - M_i)^2}{2\sigma_i^2}} d\bar{\Phi}, \quad (3)$$

де  $\bar{\Phi}$  - змінна інтегрування випадкової величини;

$M_i$ ,  $\sigma_i$  - математичне очікування і середньоквадратичне відхилення випадкової величини для  $i$ -го ступеня руйнування споруд, визначені на підставі статистичної обробки результатів експериментів або розрахунковим шляхом.

При визначенні ймовірності настання певного ступеня руйнування (ушкодження) споруд враховують теорему про повну групу подій

$$\sum_{i=0}^m P_{B_i}(\Phi) = 1, \quad (4)$$

де  $m$  - кількість даних подій.

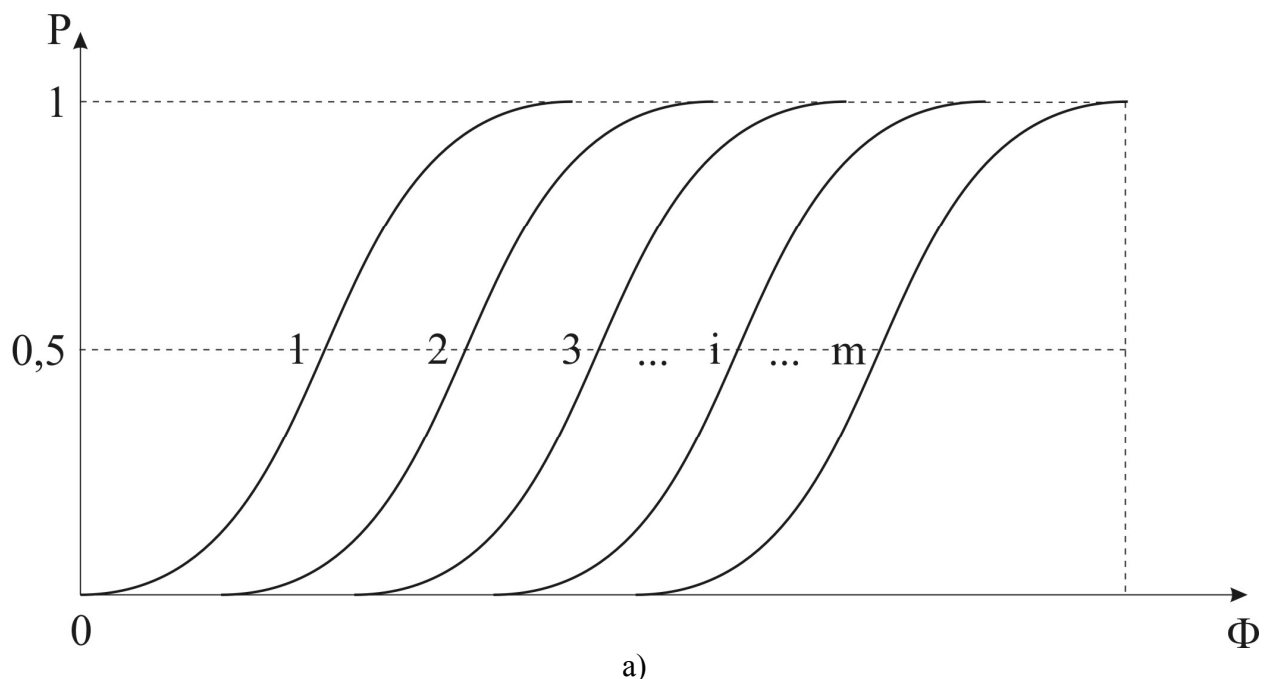
Вважається, що після дії чинника ураження споруда може бути віднесена до однієї з  $m$  несумісних подій:

- виявитися неушкодженою (подія  $B_0$ );
- отримати  $1, 2, \dots, i$ -ту ступені руйнування (ушкодження) ( $B_1, B_2, \dots, B_i$ ).

Ймовірність настання певного ступеню руйнування (ушкодження) будівель може бути визначено безпосередньо з наступних залежностей:

$$\begin{aligned} P_{B_m}(\Phi) &= P_{A_m}(\Phi), \\ P_{B_{m-1}}(\Phi) &= P_{A_{m-1}}(\Phi) - P_{A_m}(\Phi), \\ &\vdots \\ P_{B_i}(\Phi) &= P_{A_i}(\Phi) - P_{A_{i+1}}(\Phi), \\ &\vdots \\ P_{B_1}(\Phi) &= P_{A_1}(\Phi) - P_{A_2}(\Phi), \\ P_{B_0}(\Phi) &= P_{A_0}(\Phi) - P_{A_1}(\Phi), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $P_{A_1}(\Phi), P_{A_2}(\Phi), \dots, P_{A_i}(\Phi)$  - ймовірність настання не менше  $1, 2, \dots, i$ -го ступеню руйнування (ушкодження) споруд;  
 $m$  - кількість ступенів руйнування (ушкодження) споруд.



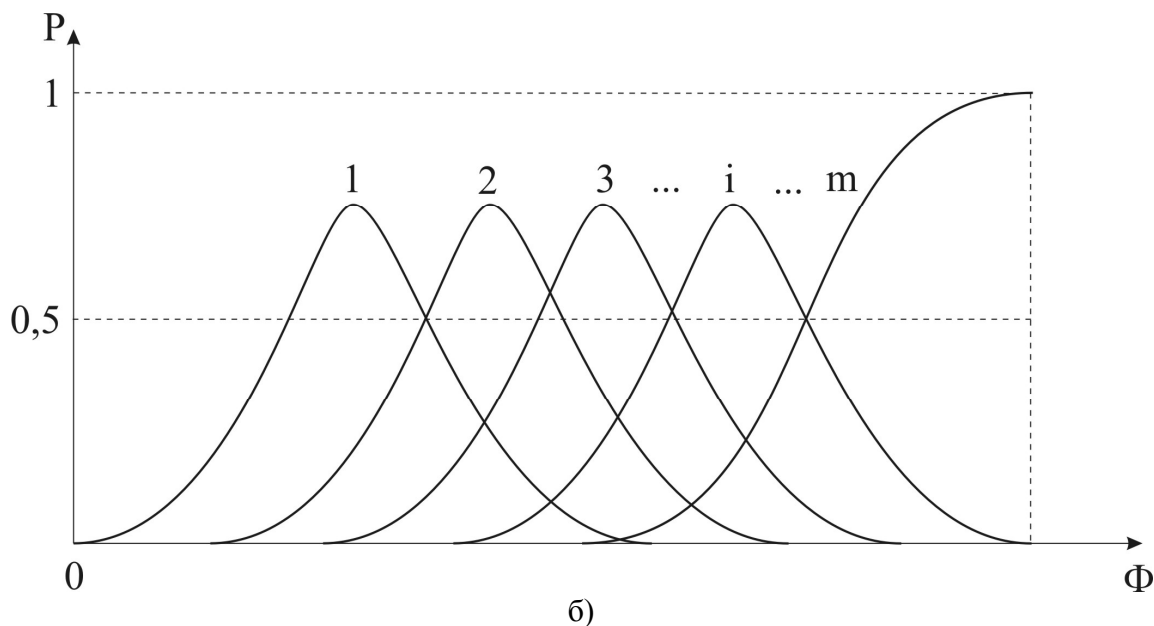


Рис. 3. Закони руйнування споруд

- а) - ймовірність виникнення не менш певних ступенів руйнування споруд;  
 б) - ймовірність виникнення певних ступенів руйнування споруд;  
 1, 2, ..., m - ступені руйнування (ушкодження) споруд.

В даний час закони руйнування отримані для захисних споруд і будівель різних типів на випадок впливу факторів ураження ядерної зброї, вибухів техногенного характеру, а також для будівель різної сейсмостійкості на дію землетрусу.

### . Закони ураження людей

Під законом ураження людей будемо розуміти залежність між ймовірністю ураження людей та інтенсивністю чинника ураження.

Параметричні закони ураження людей, розміщених в будинках, отримані на підставі теореми повної ймовірності. Вважається, що подія  $C$  (загальні, незворотні, санітарні втрати) може відбутися при отриманні будинком одного із ступенів ушкодження (при одній з гіпотез  $B_i$ ), які утворюють повну групу несумісних подій. Розрахунки проводяться по формулі

$$P(\Phi) = \sum_{i=1}^m P_{B_i}(\Phi) \cdot P(C|B_i), \quad (6)$$

де  $P(\Phi)$  – ймовірність ураження людей від дії вражаючого чинника  $\Phi$ ;  $P_{B_i}(\Phi)$  - ймовірність настання  $i$ -го ступеня ушкодження будинку при заданому значенні вражаючого чинника (закон руйнування);  $P(C|B_i)$  - ймовірність ураження людей за умови того, що будинок отримав  $i$ -ту ступінь ушкодження;  $m$  - кількість ступенів ушкодження будинку.

Значення  $P(C|B_i)$  отримують на основі обробки матеріалів про наслідки аварій і стихійних лих.

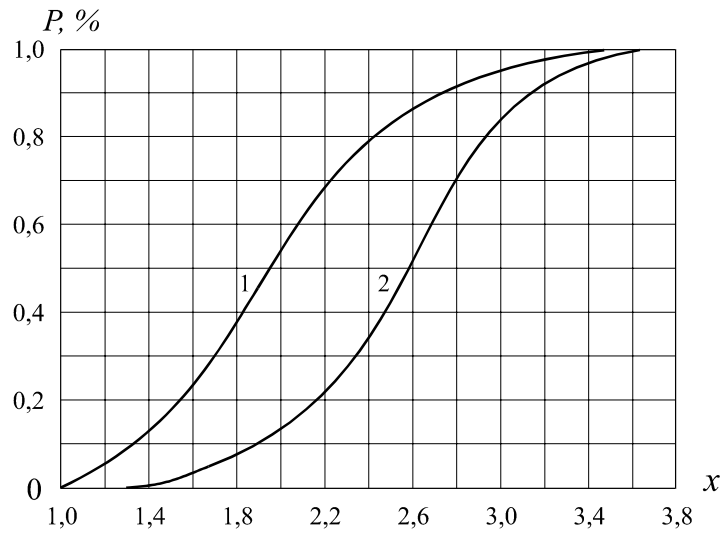


Рис. 4. Закони ураження захищеного населення

1 - загальні втрати; 2 - незворотні втрати;  $x = \frac{\Delta P_{\delta}}{\Delta P_{\delta, \delta i \zeta \delta}}$ ,  $\Delta P_{\delta}$  - тиск у фронті повітряної ударної хвилі;  $\Delta P_{\delta, \delta i \zeta \delta}$  - ступінь захисту тих, хто вкривається

На рис. 4 у якості приклада наведені закони ураження захищеного населення від дії повітряної ударної хвилі. Аналогічні закони ураження отримані для людей, що знаходяться в будинках під час землетрусів, а також на випадок хімічних і радіаційних аварій.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня 20\_\_р.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 5**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Прогнозування наслідків вибуху газоповітряних сумішей у  
відкритому просторі та у виробничих приміщеннях»**

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути основні методики прогнозування при виробничих аваріях з вибухом.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ .....   | 5 хв.  |
| 1. Основні поняття і визначення .....   | 20 хв. |
| 2. Вибух газоповітряних сумішей у відкритому просторі .....                     | 20 хв. |
| 3. Вибухи газоповітряних і пилоповітряних сумішей у виробничих приміщеннях..... | 25 хв  |
| Висновок .....  | 10 хв. |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минав Э.С. и др. Рабочая книга по прогнозированию.- М.: Мысль, 1982. – 426 с.

Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек: навч. посіб. / В.А. Андронов, А.С. Рогозін, О.М. Соболев, Р.І. Шевченко. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – 264 с.

# ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

## 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

В результаті руйнування резервуарів, трубопроводів і технологічного устаткування з горючими речовинами існує можливість їх викиду всередину будівлі або на відкритий майданчик з утворенням газопароповітряної суміші (ГППС). Серйозну небезпеку для персоналу, будівель, споруд і технологічного устаткування представляє вибух утвореної ГППС.

Особливо велика ймовірність вибуху ГППС на об'єктах нафтохімічної і хімічної промисловості, де зберігаються і використовуються значні об'єми горючих газів (ГГ) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) [6]. В зв'язку з цим, необхідно розглянути механізм вибухового горіння і викласти методику прогнозування параметрів вибухового горіння ГППС.

Перш ніж приступити до викладу основного матеріалу і методик, доцільно уточнити основні поняття і визначення.

Процес горіння із стрімким вивільненням енергії і утворенням при цьому надмірного тиску (більше 5 кПа) називається вибуховим горінням.

Розрізняють два принципово різних режимів вибухового горіння: дефлаграційний і детонаційний.

При дефлаграційному горінні розповсюдження полум'я відбувається зі швидкостями значно нижчими за швидкість звуку, при цьому тиск незначно зростає.

При детонаційному горінні (детонація) розповсюдження полум'я відбувається зі швидкістю, що є близькою до швидкості звуку або перевищує її.

Ініціація (запалення) газоповітряної суміші з утворенням осередку горіння можливо за наступних умов:

- концентрація горючого газу в газоповітряній суміші повинна бути в діапазоні між нижньою і верхньою концентраційними межами розповсюдження полум'я;
  - енергія запалення від іскри гарячої поверхні повинна бути не нижче мінімальної.
- Для більшості вибухових сумішей енергія запалення не перевищує 30 Дж.

Нижня концентраційна межа ( $C_{нкм}$ ) розповсюдження полум'я – це така концентрація горючого газу в суміші з окислювальним середовищем, нижче за яку суміш стає нездібною до розповсюдження полум'я.

Верхня концентраційна межа ( $C_{вкм}$ ) розповсюдження полум'я – це така концентрація горючого газу в суміші з окислювальним середовищем, вище за яку суміш стає нездібною до розповсюдження полум'я.

Мінімальна енергія ініціації (запалення) ( $E_i$ ) – найменше значення енергії електричного розряду, здатне запалити суміш стехіометричного складу.

Концентрація газу стехіометричного складу ( $C_{сх}$ ) – концентрація горючого газу в суміші з окислювальним середовищем, при якому забезпечується повна без залишку хімічна взаємодія горючого і окислювача суміші.

При згоранні газоповітряної суміші стехіометричного складу утворюються тільки кінцеві продукти реакції горіння і, при цьому, теплота їх згорання не витрачається на нагрівання не згорілих окислювача або горючого, які не утворюються. З цієї причини продукти згорання нагріваються до максимальної температури.

У разі дефлаграційного горіння такої суміші в замкнутому герметичному і теплоізолюваному об'ємі утворюються максимальна температура і тиск. Величина максимального тиску є характеристикою відповідної газоповітряної суміші.

Режим дефлаграційного горіння може переходити в режим детонаційного горіння (при швидкому зростанні швидкості розповсюдження полум'я). Такому переходу сприяє турбулізація процесу горіння при зустрічі фронту полум'я з перешкодами. При цьому

поверхня фронту полум'я стає нерівною, а товщина полум'я збільшується – все це викликає зростання швидкості розповсюдження полум'я.

У режимі детонаційного горіння навантаження значно зростають. Тому *режим детонаційного горіння прийнятий за розрахунковий випадок для прогнозування інженерної обстановки при аваріях з вибухом.*

До основних чинників, що впливають на параметри вибуху, відносяться: маса і тип вибухонебезпечної речовини, її параметри і умови зберігання або використання в технологічному процесі, місце виникнення вибуху, об'ємно-планувальні рішення в місці вибуху.

Вибухи на промислових підприємствах і базах зберігання можна розділити на дві групи - у відкритому просторі та у виробничих приміщеннях.

У відкритому просторі на промислових підприємствах і базах зберігання можливі вибухи газоповітряних сумішей (ГПС), що утворюються при руйнуванні резервуарів із стислими і зрідженими під тиском або охолоджуванням (у ізотермічних резервуарах) газами, а також при аварійному розливі легкозаймистих рідин.

У виробничих приміщеннях, разом з вибухом ГПС, можливі також вибухи пилоповітряних сумішей (ППС), що утворюються при роботі технологічних установок.

## **2. ВИБУХ ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ**

З метою проведення розрахунків з гарантованим запасом по обсягу інженерно-рятувальних робіт, під час обґрунтування початкових даних приймають такий випадок руйнування резервуару, при якому вибух газоповітряної суміші призводить до максимальної вражаючої дії. Цей випадок відповідає руйнуванню того резервуару, в якому зберігається максимальна кількість горючої речовини на даному об'єкті.

Коротко розглянемо моделі дії, що визначають поля вражаючих чинників (тисків) при прогнозуванні наслідків вибухів газоповітряних сумішей.

При вибуху газоповітряних сумішей розрізняють дві зони дії: детонаційної хвилі – в межах хмари ГПС, і повітряної ударної хвилі – за межами хмари ГПС. У зоні хмари діє детонаційна хвиля, надмірний тиск у фронті якої приймається постійним в межах хмари ГПС і приблизно рівним  $\Delta P = 17 \text{ кгс/см}^2$  (1,7 МПа).

У розрахунках приймають, що зона дії детонаційної хвилі обмежена радіусом  $r_0$ , який визначається з припущення, що ГПС після руйнування ємності утворює у відкритому просторі півсферичну хмару.

Об'єм півсферичної хмари може бути визначений по формулі:

$$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3, \text{ м}^3.$$

Враховуючи, що кіломолярний об'єм ідеального газу за нормальних умов займає 22,4 м<sup>3</sup>, об'єм утвореної ГПС при аварійній ситуації складе:

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100}{m_k \cdot C}, \text{ м}^3,$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує частку активного газу (частку продукту, що бере участь у вибуху);  $Q$  - кількість зріджених вуглеводневих газів у сховищі до вибуху, кг;  $C$  - стехіометрична концентрація газу в % за об'ємом (таблиця 5.8);  $m_k$  - молярна маса газу, кг/кмоль.

Виходячи з умови рівності півсфери і об'єму утвореної суміші, радіус зони дії детонаційної хвилі можна обчислити за наступною формулою:

$$r_0 \approx 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}}, \text{ м.} \quad (5.17)$$

При підстановці значень для метану  $m_k = 16$  і  $C = 9,45$  (див. табл. 5.8), отримаємо формулу:

$$r_0 = 18,5 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot k}, \text{ м,} \quad (5.18)$$

де  $Q$  - кількість метану до вибуху в тоннах.

Дана формула набула широкого поширення при проведенні розрахунків щодо визначення наслідків вибухів для вуглеводневих газів.

Значення коефіцієнта  $k$  приймають в залежності від способу зберігання продукту:

$k = 1$  - для резервуарів з газоподібною речовиною;

$k = 0,6$  - для газів, зріджених під тиском;

$k = 0,1$  - для газів, зріджених охолодженням (що зберігаються в ізотермічних ємностях);

$k = 0,05$  - при аварійному розливі легкозаймистих рідин.

Зона дії повітряної ударної хвилі починається відразу за зовнішньою межею хмари ГПС. Тиск у фронті повітряної ударної хвилі  $\Delta P_\phi$  залежить від відстані до центру вибуху і визначається по рис. 5.3 або по таблиці 5.7, виходячи із співвідношення:

$$\Delta P_\phi = f\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (5.19)$$

де  $r$  - відстань від центру вибуху до точки, що розглядається.

Таблиця 5.7

|                          |       |      |      |      |     |     |     |     |
|--------------------------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $r/r_0$                  | 0 - 1 | 1,01 | 1,04 | 1,08 | 1,2 | 1,4 | 1,8 | 2,7 |
| $\Delta P_\phi$ ,<br>кПа | 1700  | 1232 | 814  | 568  | 400 | 300 | 200 | 100 |
| $r/r_0$                  | 3     | 4    | 5    | 6    | 8   | 12  | 20  |     |
| $\Delta P_\phi$ ,<br>кПа | 80    | 50   | 40   | 30   | 20  | 10  | 5   |     |

Таблиця 5.7 і рис. 5.3 апроксимують відомі формули [6], що характеризують залежність тиску від відстані до центру вибуху.

### 3. ВИБУХИ ГАЗОПОВІТРЯНИХ І ПИЛОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Аварії з вибухом виникають, як правило, на пожежовибухонебезпечних об'єктах. До пожежовибухонебезпечних об'єктів відносяться об'єкти, на території або в приміщеннях яких знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймисті рідини і горючий пил в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні горючі суміші, при горінні яких надлишковий тиск в приміщенні може перевищити 5 кПа.

Наслідки вибуху на пожежовибухонебезпечних підприємствах визначаються залежно від умови розміщення вибухонебезпечних продуктів. Якщо продукти розміщуються поза приміщеннями, то приймається, що аварія розвивається за сценарієм вибуху у відкритому просторі.

Якщо технологічний апарат з вибухонебезпечними продуктами розміщений в будівлях, то аварія розвивається за сценарієм вибуху в замкнутому об'ємі.

Коротко розглянемо моделі дії, що дозволяють визначити поля тисків при прогнозуванні наслідків вибухів у виробничих приміщеннях.

Найбільш типовими аварійними ситуаціями в цьому випадку вважаються:

- руйнування апарату або трубопроводу із змішаними газами або рідинами;
- втрата герметичності трубопроводів (розрив зварного шва, прокладки, відрив штуцера);

- розлив рідин по підлозі приміщення або по рельєфу місцевості;

- утворення або викид горючого пилу.

В цьому випадку газо-, паро-, пилоповітряна суміш займе частково або повністю весь об'єм приміщення. Потім цей об'єм замінюється розрахунковою сферою (у відмінності від півсфери у відкритому просторі), радіус якої визначається з урахуванням об'єму приміщення, типу і маси небезпечної суміші. При прогнозуванні наслідків вважають, що процес в приміщенні розвивається в режимі детонації.

### 3.1. Вибухи газопароповітряних сумішей

При вибуху газопароповітряних сумішей (ГППС) зону детонаційної хвилі, обмежену радіусом  $r_0$ , можна визначити по формулі:

$$r_0 = \frac{1}{24} \cdot \sqrt[3]{E}, \text{ м}, \quad (5.20)$$

де  $1/24$  - коефіцієнт, м/кДж<sup>1/3</sup>;  $E$  - енергія вибуху суміші, що визначається з наступного виразу:

$$E = V_{\text{ГППС}} \cdot \rho_{\text{смх}} \cdot Q_{\text{смх}}, \text{ кДж}, \quad (5.21)$$

де  $V_{\text{ГППС}}$  - об'єм суміші, який дорівнює

$$V_{\text{ГППС}} = \frac{V_2}{C}, \quad (5.22)$$

де  $V_2$  - об'єм газу в приміщенні;  $C$  - стехіометрична концентрація горючого по об'єму в % (табл. 5.8);  $\rho_{\text{смх}}$  - щільність суміші стехіометричного складу, кг/м<sup>3</sup> (табл. 5.8);  $Q_{\text{смх}}$  - енергія вибухового перетворення одиниці маси суміші стехіометричного складу, кДж/кг;  $V_0$  - вільний об'єм приміщення, що дорівнює  $V_0 = 0,8 \cdot V_n$ , м<sup>3</sup>;  $V_n$  - об'єм приміщення; при  $V_{\text{ГППС}} > V_0$  об'єм суміші  $V_{\text{ГППС}}$  приймають рівним  $V_0$ .

У нормативній літературі по вибухозахисту будівель вибухобезпечних виробництв існують спеціальні методики по визначенню маси і об'єму газу, що розповсюджується в приміщенні при аварійній ситуації. Ці методики передбачають ретельне вивчення технологічного процесу. Для оперативного прогнозування наслідків вибуху у виробничих приміщеннях розрахунки доцільно проводити для випадку, при якому будуть максимальні

руйнування, тобто коли вільний об'єм приміщення, де розташовані ємності з газом, буде повністю заповнений вибухонебезпечною сумішшю стехіометричного складу.

Тоді рівняння (5.21) для визначення енергії вибуху можна записати у вигляді:

$$E = \frac{100 \cdot V_0 \cdot \rho_{смх} \cdot Q_{смх}}{C}, \text{ кДж.} \quad (5.23)$$

Далі приймається, що за зоною детонаційної хвилі з тиском  $17 \text{ кгс/см}^2$ , діє повітряна ударна хвиля.

Таблиця 1 - Характеристики газопароповітряних сумішей

| Речовина, що характеризує суміш | Формула речовини, створюючої суміш            | Характеристики суміші |  |                                    |                |
|---------------------------------|---|-----------------------|--|------------------------------------|----------------|
|                                 |   | $m_k$ ,<br>кг/кмоль   | $\rho_{\text{н}0} \delta$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $Q_{\text{н}0} \delta$ ,<br>МДж/кг | $C$ ,<br>об. % |
| Газоповітряні суміші            |   |                       |  |                                    |                |
| Аміак                           | CH <sub>3</sub>                               | 15                    | 1,180  | 2,370                              | 19,72          |
| Ацетилен                        | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>                 | 26                    | 1,278  | 3,387                              | 7,75           |
| Буган                           | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                | 58                    | 1,328  | 2,776                              | 3,13           |
| Бутилен                         | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>                 | 56                    | 1,329  | 2,892                              | 3,38           |
| Вінілхлорид                     | C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl              | 63                    | 1,400  | 2,483                              | 7,75           |
| Водень                          | H <sub>2</sub>                                | 2                     | 0,933  | 3,425                              | 29,59          |
| Дивініл                         | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                 | 54                    | 1,330  | 2,962                              | 3,68           |
| Метан                           | CH <sub>4</sub>                               | 16                    | 1,232  | 2,763                              | 9,45           |
| Окисел вуглецю                  | CO  | 28                    | 1,280  | 2,930                              | 29,59          |
| Пропан                          | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                 | 44                    | 1,315  | 2,801                              | 4,03           |
| Пропілен                        | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                 | 42                    | 3,314  | 2,922                              | 4,46           |
| Етан                            | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                 | 30                    | 1,250  | 2,797                              | 5,66           |
| Етилен                          | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                 | 28                    | 1,285  | 3,010                              | 6,54           |
| Пароповітряні суміші            |   |                       |  |                                    |                |
| Ацетон                          | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O               | 58                    | 1,210  | 3,112                              | 4,99           |
| Бензин авіаційний               |   | 94                    | 1,350  | 2,973                              | 2,10           |
| Бензол                          | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                 | 78                    | 1,350  | 2,937                              | 2,84           |
| Гексан                          | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                | 86                    | 1,340  | 2,797                              | 2,16           |
| Дихлоретан                      | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> | 99                    | 1,49   | 2,164                              | 6,54           |
| Діетиловий ефір                 | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O              | 74                    | 1,360  | 2,840                              | 3,38           |
| Ксилол                          | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>                | 106                   | 1,355  | 2,830                              | 1,96           |
| Метанол                         | CH <sub>4</sub> O                             | 32                    | 1,300  | 2,843                              | 12,30          |
| Пентан                          | C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>                | 72                    | 1,340  | 2,797                              | 2,56           |
| Толуол                          | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                 | 92                    | 1,350  | 2,843                              | 2,23           |
| Циклогексан                     | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                | 84                    | 1,340  | 2,797                              | 2,28           |
| Етанол                          | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O               | 46                    | 1,340  | 2,804                              | 6,54           |

### 3.2. Вибухи пилоповітряних сумішей

При порушенні герметичності технологічних апаратів пил викидається в приміщення, де, разом з пилом, що накопичився, змішується з повітрям, утворюючи

пилоповітряну суміш (ППС), здатну горіти. Іскровий розряд приводить до вибухового горіння суміші.

На відміну від газових сумішей утворення вибухонебезпечної хмари пилу в приміщенні може відбуватися в процесі самого горіння. Перед вибухом в більшості випадків трапляються локальні мікробибухи в устаткуванні, резервуарах, і займання в окремих ділянках будівлі, що викликає струшування пилу, який осів на підлозі, стінах та інших будівельних конструкціях і устаткуванні. Це призводить до утворення вибухонебезпечних концентрацій пилу у всьому об'ємі приміщення, вибух якого викликає сильні руйнування.

Вибухове горіння може відбуватися по одному з двох режимів - дефлаграційному або детонаційному.

При оперативному прогнозуванні наслідків приймають, що процес розвивається в детонаційному режимі.

Зону детонаційної хвилі, обмежену радіусом  $r_0$ , можна визначити по формулі (5.20), в якій енергія вибуху визначається з виразу:

$$E = m \cdot Q, \text{ кДж}, \quad (5.24)$$

де  $Q$  - питома теплота згорання речовини, що утворила пил, кДж/кг (табл.5.9);  $m$  - розрахункова маса пилу, кг.

При оперативному прогнозуванні розрахункова маса пилу визначається з урахуванням умови, що вільний об'єм приміщення буде повністю заповнений зваженим дисперсним продуктом, утворюючи при цьому пилоповітряну суміш стехіометричної концентрації:

$$m = \frac{V_0 \cdot C}{1000}, \text{ кг}, \quad (5.25)$$

де  $V_0$  - вільний об'єм приміщення, що дорівнює  $V_0 = 0,8 \cdot V_n$ , м<sup>3</sup>;  $V_n$  - об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $C$  - стехіометрична концентрація пилу, г/м<sup>3</sup>,

$$C \approx 3 \cdot \varphi_{НКМ}, \quad (5.26)$$

де  $\varphi_{НКМ}$  - нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я (мінімальний вміст пилу в суміші з повітрям, при якому можливий спалах).

Значення  $\varphi_{НКМ}$  для різних речовин знаходиться в наступних межах:

- для неорганічних речовин (сіра, фосфор)  $\varphi_{НКМ} = 2 - 30 \text{ г/м}^3$ ;
- для пластмас  $\varphi_{НКМ} = 20 - 100 \text{ г/м}^3$ ;
- для пестицидів і фарбників  $\varphi_{НКМ} = 30 - 300 \text{ г/м}^3$ ;
- для вовни  $\varphi_{НКМ} = 100 - 200 \text{ г/м}^3$ .

Значення характеристик деяких аерозолів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Показники вибухових явищ пилу

| Речовина      | $\varphi_{НКМ}$ , г/м <sup>3</sup> | $Q$ , МДж/кг |
|---------------|------------------------------------|--------------|
| Полістирол    | 27,5                               | 39,8         |
| Поліетилен    | 45,0                               | 47,1         |
| Метилцелюлоза | 30,0                               | 11,8         |



|                              |      |       |
|------------------------------|------|-------|
| Полюксадіазол                | 18,0 | 18,0  |
| Пігмент зелений (фарбник)    | 45,0 | 42,9  |
| Пігмент бордо на поліетилені | 39,0 | 42,9  |
| Нафталін                     | 2,5  | 39,9  |
| Фталієвий ангідрид           | 12,6 | 21,0  |
| Уротропін                    | 15,0 | 28,1  |
| Адипінова кислота            | 35,0 | 19,7  |
| Сіра                         | 2,3  | 8,2   |
| Алюміній                     | 58,0 | 30,13 |

Тиск у фронті повітряної ударної хвилі визначається з використанням даних таблиці.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня  
20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 6**  
з навчальної дисципліни  
**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Прогнозування глибин зон зараження небезпечних хімічних  
речовин у разі аварії на хімічно небезпечних об'єктах»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути особливості глибин зон зараження небезпечних хімічних речовин у разі аварії на ХНО.

### **Загальні методичні вказівки**

- 1.Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
- 2.Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
- 3.Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| Вступ.....                       | 5 хв.  |
| 1 Основні поняття.....           | 35 хв  |
| 2 Методика прогнозування ХО..... | 30 хв. |
| Висновок.....                    | 10 хв. |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
2. Крянев А.В., Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
3. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Дело, 1987. – 239 с.
4. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ХІМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

У діяльності органів управління сфери цивільного захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій важливою функцією є прогнозування і оцінка обстановки, що може скластися внаслідок аварій на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО) і транспорті з виливом (викидом) небезпечних хімічних речовин (НХР).

Хімічна обстановка (ХО) - це зараження атмосфери і місцевостей небезпечними хімічними речовинами під час промислових аварій або застосування хімічної зброї, що потребує певних заходів захисту людей і довкілля. Вона характеризується масштабами (розмірами зон) і ступенем зараження (концентраціями НХР).

Аварія з викидом НХР - подія техногенного характеру, яка сталася на ХНО внаслідок виробничих чи конструктивних причин або зовнішніх впливів, що призвели до пошкодження технологічного обладнання, споруд з виливом (викидом) НХР в атмосферу і реально загрожують життю і здоров'ю людей.

Прогнозування хімічної обстановки - отримання ймовірної інформації про хімічну обстановку, що може скластися на території регіону, об'єктах господарювання на основі прогнозу (передбачення) наслідків хімічного зараження у відповідних умовах.

Оцінка хімічної обстановки - розв'язання завдань і формулювання висновків з аналізу наслідків і ступеня впливу хімічного забруднення на життєдіяльність людей регіону, об'єкти господарювання та визначення заходів щодо їхнього захисту.

Наслідки виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті характеризуються ступенем небезпеки, масштабом і тривалістю хімічного забруднення.

*Масштаб хімічного забруднення* визначається:

- фізико-хімічними властивостями СДЯР;
- кількістю СДЯР, викинутих у навколишнє середовище;
- напрямком і швидкістю вітру в приземному шарі повітря;
- температурою повітря;
- ступенем вертикальної стійкості повітря (СВСП) у приземному шарі;
- характером місцевості на шляху поширення отруйної хмари (відкрита місцевість – поле, озеро, або наявність перешкоди: ліс, міська забудова тощо);
- характером зберігання ємкостей (наявності обвалування).

*Ступінь небезпеки хімічного забруднення* визначається:

- кількістю уражених у районі аварії та в зонах розповсюдження НХР;
- площею ураженої території, кількістю забрудненої техніки, обладнання, майна тощо.

*Тривалість хімічного забруднення* характеризується:

- часом випаровування НХР у районі аварії та в зонах розповсюдження, протягом якого існує небезпека ураження;
- часом підходу хмари НХР до населеного пункту;
- часом дегазації місцевості, техніки, обладнання;
- часом хімічного забруднення відкритих джерел водозабезпечення.

На сьогодні завчасне і оперативне прогнозування хімічної обстановки рекомендується здійснювати за Методикою, затвердженою 2001 року.

Прогнозування й оцінювання хімічної обстановки передбачає вирішення таких завдань:

- 1) визначення за метеорологічними даними *напрямку* осі сліду хмари викиду хімічних речовин;
- 2) визначення прогнозованої *глибини* зони ураження СДЯР;
- 3) визначення *площі* ураження СДЯР;
- 4) прогнозування можливих *уражень людей*, що знаходяться в осередку ураження;
- 5) визначення *часу підходу* зараженого повітря до об'єкта і *тривалості дії* ураження СДЯР;
- 6) *нанесення на карти* і схеми прогнозованих зон ураження.

## 2 МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ХІМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Прогнозування й оцінка хімічної обстановки під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО) і транспорті (автомобільному, річковому, залізничному, трубопроводному, морському) здійснюються для визначення можливих наслідків аварій, порядку дій у зоні можливого зараження і вжиття заходів для захисту людей (аварійне прогнозування), а також для визначення ступеня хімічної небезпеки об'єктів, які зберігають або використовують НХР, і адміністративно-територіальних одиниць (АТО), в межах яких живе населення, пов'язано з ризиком його ураження НХР (довгострокове прогнозування).

Критерієм, за яким класифікують території та об'єкти щодо їх хімічної небезпеки, є кількість населення і розмір площі, що може потрапити в зону можливого зараження у випадку аварії на ХНО (табл. 8).

**Зона можливого хімічного зараження (ЗМХЗ)** — це територія, в межах якої під впливом зміни напрямку вітру може виникнути переміщення хмари НХР з небезпечними для людини концентраціями. Зона наноситься на карту (план) місцевості у вигляді кола, півкола, чверть кола, однієї восьмої кола залежно від швидкості вітру.

Радіус кола (сектора) дорівнює глибині поширення хмари зараженого повітря Г, а бісектриса сектора збігається із віссю хмари і орієнтована в напрямку вітру.

При прогнозуванні обстановки після аварії визначаються параметри **прогнозованої зони хімічного зараження (ПЗХЗ)** - розрахункової зони в межах зони можливого хімічного зараження (ЗМХЗ), параметри якої

приблизно визначаються за формою рівнобедреного трикутника (сектора) з кутовим розміром залежно від стійкості повітря:

**120° - при інверсії,**

**200° - ізотермії,**

**350° - конвекції.**

Методика прогнозування і оцінка ХО основана на тому, що при руйнуванні ємності, в якій зберігається НХР у рідкому чи газоподібному стані, утворюється первинна і вторинна хмара, за якими визначається сумарна глибина прогнозованої зони хімічного зараження,  $\Gamma_{пзхз}$ .

Параметри зони хімічного зараження залежать від кількості НХР, що перейшла в первинну і вторинну хмару, умов зберігання НХР (ємності обваловані, не обваловані), метеоумов, характеру місцевості та ін.

**Первинна хмара НХР** - це хмара, яка виникає внаслідок миттєвого переходу (1-2 хв) в атмосферу пароподібної частини НХР з ємності при її руйнуванні.

**Вторинна хмара НХР** - це хмара, що виникає внаслідок випаровування речовини з поверхні розливу НХР (підстільної поверхні).

При "вільному" виливі НХР висота шару (**h**) вважається такою, що не перевищує **0,05 м**, при виливі "у піддон" (обваловану місцевість) висота шару приймається

$$h = H - 0,2 \text{ м,}$$

де **H** - висота обвалування, м.

**Вихідними даними при аварійному прогнозуванні є:**

- тип і кількість НХР на об'єкті Q, т;
- умови зберігання НХР: у ємностях (обваловані, не обваловані), трубопроводах;
- висота обвалування ємності H, м;
- метеоумови: напрямок (азимут) і швидкість вітру (V, м/с), температура повітря (°C), ступінь вертикальної стійкості повітря (СВСП): інверсія, ізотермія, конвекція;
- характер місцевості: відкрита, закрита (довжина забудови, лісового масиву, км);
- кількість людей на об'єкт (в населеному пункті), що може опинитися в зоні можливого зараження;
- забезпеченість населення засобами захисту, %.

**Визначаються:**

1. Глибина прогнозованої зони хімічного зараження,  $\Gamma_{пзхз}$ , км.
2. Ширина прогнозованої зони хімічного зараження,  $\Pi_{пзхз}$ , км.
3. Площа прогнозованої зони зараження,  $S_{пзхз}$ , км<sup>2</sup>.
4. Площа зони можливого хімічного зараження  $S_{змхз}$ , км<sup>2</sup>.
5. Час підходу хмари зараженого повітря до заданого об'єкта (населеного пункту),  $t_{підх}$ , год (хв).
6. Час уражаючої дії фактора зараження НХР,  $t_{ур}$ , год.
7. Можливі втрати людей в осередку хімічного ураження. **В**, осіб.

Прогнозування і оцінка хімічної обстановки здійснюється з використанням таблиць і розрахунків. Усі розрахунки виконуються на термін не більше 4 годин після початку аварії ( $t_{ав} - 4$  год) - тривалість збереження сталих метеоумов. Після цього прогноз має бути уточненим.

### **Визначення розмірів (глибини, ширини та площі) зони хімічного зараження**

2.1.1. Глибина прогнозованої зони розповсюдження хмари зараженого повітря з уражаючими концентраціями ( $\Gamma_{пзхз}$ , км) визначається розрахунком за формулою:

$$\Gamma_p = \Gamma_T \times K_B / K_{cx} - \Gamma_{zm},$$

де  $\Gamma_T$  - табличне значення глибини зони, визначене за табл. 1 для умов: місцевість відкрита, ємності НХР не обваловані ("вільний" розлив), швидкість вітру  $V = 1$  м/с, температура повітря  $0$  °С.

Вхідними даними до таблиці є: кількість викинутої при аварії НХР..., т; ступінь вертикально) стійкості повітря (СВСП).

У знайдене значення глибини зони вводиться поправка на задану температуру повітря за приміткою 1 або 2 до *табл. 1*.

$K_B$  - поправочний коефіцієнт на вітер за *табл. 2*;

$K_{cx}$  - коефіцієнт, що враховує тип сховища і характеризує зменшення глибини поширення хмари НХР при виливі "у піддон" (при умові зберігання НХР в обвалованих ємностях) за табл. 3 з урахуванням висоти обвалування  $H$ , м. Для необвалованої ємності  $K_{cx} - 1$ .

$\Gamma_{zm}$  - величина, на яку зменшується глибина поширення хмари НХР на закритій місцевості (міська, сільська забудова, лісовий масив), км, визначається за формулою:

$$\Gamma_{zm} = L - L / K_{zm},$$

де  $L$  - довжина закритої місцевості на осі сліду хмари НХР, км, у межах глибини, на яку поширилась би хмара на відкритій місцевості;

$K_{zm}$  - коефіцієнт зменшення глибини поширення хмари НХР для кожного 1 км довжини закритої місцевості за *табл. 4*.

Після визначення розрахункової глибини зони з урахуванням усіх коефіцієнтів отримане значення  $\Gamma_p$  порівнюється з максимальним значенням глибини переносу повітряних мас  $\Gamma_n$  за 4 години:

$$\Gamma_n = 4 W, \text{ км},$$

де  $W$  - швидкість переносу повітряних мас (*табл. 5*) при заданих швидкості вітру (км/год) і СВСП.

Найменше із порівняних величин приймається за фактичну прогнозовану глибину зони зараження, тобто  $\Gamma_{пзхз} = \min\{\Gamma_n; \Gamma_p\}$ .

### 2.1.2. Ширина прогнозованої зони хімічного зараження ( $Ш_{пзхз}$ )

Залежно від СВС її ширина (в кінці зони) розраховується за формулами:

**при інверсії**  $Ш_{пзхз} = 0,2 \times \Gamma_{пзхз}, \text{ км};$

**при ізотермії**  $Ш_{пзхз} = 0,35 \times \Gamma_{пзхз}, \text{ км};$

**при конвекції**  $Ш_{пзхз} = 0,6 \times \Gamma_{пзхз}, \text{ км},$

де  $\Gamma_{\text{ПЗХЗ}}$  - глибина прогнозованої зони хімічного зараження, що визначена в 1.1, км.

Ширину зони зараження в місці розташування об'єкта, для якого здійснюється прогнозування, можна визначити за цими ж формулами, якщо замість ГПЗХЗ підставити відстань від об'єкта  $R_0$  до місця аварії.

### 2.1.3. Площа зони хімічного зараження

При прогнозуванні визначається:

а) площа прогнозованої зони хімічного зараження (ПЗХЗ) за формулою:

$$S_{\text{ПЗХЗ}} = 0,5 \times \Gamma_{\text{ПЗХЗ}} \times \Pi_{\text{ПЗХЗ}};$$

б) площа зони можливого хімічного зараження розраховується за емпіричною формулою:

$$S_{\text{ЗМХЗ}} = 8,72 \times 10^{-3} \times \Gamma_{\text{ПЗХЗ}}^2 \times J, \text{ км}^2;$$

де  $\Gamma_{\text{ПЗХЗ}}$  - глибина зони, км;  $J$  - коефіцієнт, який умовно дорівнює кутовому розміру зони можливого зараження залежно від швидкості вітру:

| Швидкість вітру, м/с | <1  | 1   | 2  | >2 |
|----------------------|-----|-----|----|----|
| $J$                  | 360 | 180 | 90 | 45 |

### 2.2. Визначення часу підходу хмари зараженого повітря до об'єкта ( $t_{\text{підх}}$ )

Час підходу хмари НХР до заданого об'єкта залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком  $M$ , на що впливає швидкість вітру, і визначається за формулою:

$$t_{\text{підх}} = R_0/W, \text{ год},$$

де  $R_0$  - відстань від місця аварії (джерела забруднення) до заданого об'єкта, км;

$W$  - швидкість перенесення переднього фронту забрудненого повітря, визначається за *табл. 5* (швидкість вітру на висоті хмари більша, ніж біля поверхні землі).

### 2.3. Визначення тривалості дії фактора хімічного зараження ( $t_{\text{ур}}$ )

Тривалість дії НХР визначається терміном випаровування НХР з поверхні її розливу ( $t_{\text{ур}} = t_{\text{вип}}$ ), що залежить від характеру розливу ("вільно" чи "у піддон"), швидкості вітру, типу НХР і може бути визначено за *табл. 6* або розраховано за формулою:

$$t_{\text{ур}} = t_{\text{вип}} = h \times d/\kappa_1 \times \kappa_2 \times \kappa_3,$$

де  $d$  - щільність НХР, т/м<sup>3</sup> (*табл. 9*);

$h$  - висота шару розлитої НХР, м (якщо ємності не обваловані - "вільний" розлив  $h = 0,05$  м.

Якщо обваловані:  $h = H - 0,2$  (м), де  $H$  - висота обвалування);

$\kappa_1$ - коефіцієнт, що залежить від фізико-хімічних властивостей НХР, береться з *табл. 9*:

$\kappa_2$ - коефіцієнт, який враховує температуру повітря (*табл. 5*);

$\kappa_3$ - коефіцієнт, що враховує швидкість вітру  $V$  і розраховується  $\kappa_3 = (V+2)/3$

## Таблиця 1



**Глибина поширення хмари зараженого повітря з уражаючими концентраціями НХР на відкритій місцевості, км (ємності не обваловані, швидкість вітру 1 м/с, температура повітря 0 °С)**

| Найменування НХЛ  | Кількість НХР в ємностях, т |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 1                           | 5    | 10   | 20   | 30   | 50   | 100  | 300  |
| <b>Інверсія</b>   |                             |      |      |      |      |      |      |      |
| Хлор              | 4,65                        | 12,2 | 18,5 | 28,3 | 36,7 | 50,4 | 78,7 | 156  |
| Аміак             | 0,5                         | 1,6  | 2,45 | 4,05 | 5,25 | 6,85 | 10,8 | 21   |
| Сірчаний ангідрид | 2,1                         | 5,85 | 9,25 | 14,1 | 18,1 | 24,7 | 38,4 | 76,9 |
| Сірководень       | 0,5                         | 1,5  | 2,5  | 3,95 | 5,0  | 6,7  | 10,3 | 21   |
| Соляна кислота    | 1,25                        | 3,05 | 4,65 | 6,8  | 8,75 | 12,2 | 18,7 | 31,7 |
| Хлорпікрин        | 3,65                        | 9,7  | 14,7 | 22,5 | 29,3 | 40,3 | 62,6 | 123  |
| Формальдегід      | 4,65                        | 12,3 | 18,7 | 28,5 | 37,1 | 50,9 | 79,2 | 158  |
| <b>Ізотермія</b>  |                             |      |      |      |      |      |      |      |
| Хлор              | 1,75                        | 5,05 | 7,35 | 11,6 | 14,8 | 20,2 | 30,9 | 62   |
| Аміак             | -                           | 0,5  | 1,25 | 1,55 | 1,95 | 2,75 | 4,45 | 8,35 |
| Сірчаний ангідрид | 0,7                         | 2,4  | 3,7  | 5,6  | 7,2  | 10,2 | 15,3 | 30,5 |
| Сірководень       | -                           | 0,5  | 0,7  | 1,4  | 1,9  | 2,75 | 4,3  | 8,15 |
| Соляна кислота    | 0,5                         | 1,3  | 1,85 | 2,9  | 3,7  | 5    | 7,45 | 14,7 |
| Хлорпікрин        | 1,5                         | 4    | 5,85 | 9,2  | 11,7 | 15,9 | 24,4 | 49,4 |
| Формальдегід      | 1,85                        | 5,1  | 7,5  | 11,7 | 15,0 | 20,4 | 31,2 | 62,5 |
| <b>Конвекція</b>  |                             |      |      |      |      |      |      |      |
| Хлор              | 0,75                        | 2,4  | 4,05 | 6,05 | 7,6  | 10,7 | 16,1 | 31,9 |
| Аміак             | -                           | -    | -    | 0,5  | 1,05 | 1,45 | 2,2  | 4,55 |
| Сірчаний ангідрид | 0,5                         | 1,3  | 1,9  | 3    | 3,8  | 5,1  | 7,95 | 15,7 |
| Сірководень       | -                           | -    | -    | 0,5  | 0,8  | 1,4  | 2,15 | 4,4  |
| Соляна кислота    | -                           | 0,5  | 0,95 | 1,5  | 1,9  | 2,6  | 4,0  | 7,7  |
| Хлорпікрин        | 0,8                         | 2,0  | 3,25 | 4,85 | 6,05 | 8,35 | 12,9 | 25,2 |
| Формальдегід      | 0,8                         | 2,45 | 4,0  | 6,05 | 7,65 | 10,7 | 16,3 | 32,2 |

### **Примітки до табл. 1**

1. При температурі повітря +20 °С глибина розповсюдження хмари зараженого повітря збільшується, а при -20 °С зменшується на 5 % наведених у таблиці для 0 °С.

2. При температурі +40 °С при ізотермії і конвекції глибина збільшується на 10 %.

3. Для НХР, що не увійшли до табл.1, для розрахунку береться глибина поширення хмари хлору для заданих умов і множиться на коефіцієнт для певного НХР: фосген -1,14; **окисли азоту - 0,28**; метиламін - 0,24; диметиламін -0,24; нітробензол - 0,01; окисел етилену - 0,06; водень фтористий - 0,3; **ціаністий водень - 0,97**.

### **Таблиця 2**

**Поправочні коефіцієнти зменшення глибини поширення хмари зараженого повітря залежно від швидкості вітру**

| СВСП             | Швидкість вітру, м/с |      |      |      |      |      |
|------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|                  | 1                    | 2    | 3    | 4    | 5    | 10   |
| <b>Інверсія</b>  | 1                    | 0,6  | 0,45 | 0,4  | -    | -    |
| <b>Ізотермія</b> | 1                    | 0,65 | 0,55 | 0,5  | 0.45 | 0,35 |
| <b>Конвекція</b> | 1                    | 0,7  | 0,6  | 0,55 | -    | -    |

**Таблиця 3**

**Коефіцієнти зменшення глибини поширення хмари НХР при виливі "у піддон" залежно від висоти обвалування**

| Найменування НХР  | Висота обвалування, м |      |      |
|-------------------|-----------------------|------|------|
|                   | Н=1                   | Н=2  | Н=3  |
| Хлор              | 2,1                   | 2,4  | 23   |
| Аміак             | 2                     | 2,25 | 2,35 |
| Сірчаний ангідрид | 2,5                   | 3    | 3,1  |
| Сірководень       | 1,6                   | -    | -    |
| Соляна кислота    | 4,6                   | 7.4  | 10   |
| Хлорпікрин        | 5,3                   | 8,8  | 11,6 |
| Формальдегід      | 2,1                   | 2,3  | 2,5  |

*Примітка до табл. 3.*

1. У разі проміжних значень висоти обвалування існуюче значення висоти обвалування округляється до ближчого.
2. Якщо приміщення, де зберігаються НХР, герметичне зачиняються і обладнані спеціальними вловлювачами, то відповідний коефіцієнт збільшується втричі.

**Таблиця 4**

**Коефіцієнти зменшення глибини поширення хмари НХР для кожного 1 км довжини закритої місцевості, Кзм**

| СВСП      | Міська забудова | Сільське будівництво | Лісові масиви |
|-----------|-----------------|----------------------|---------------|
| Інверсія  | 3.5             | 3                    | 1,8           |
| Ізотермія | 3               | 2,5                  | 1,7           |
| Конвекція | 3               | 2                    | 1,5           |

**Таблиця 5**

**Перенесення переднього фронту хмари забрудненого повітря залежно від швидкості вітру та СВСП W, км/год**

| СВСП | Швидкість вітру, м/с |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|      | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

|           |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Інверсія  | 5 | 10 | 16 | 21 | -  | -  | -  | -  | -  | -  |
| Ізотермія | 6 | 12 | 18 | 24 | 29 | 35 | 41 | 47 | 53 | 59 |
| Конвекція | 7 | 14 | 21 | 28 | -  | -  | -  | -  | -  | -  |



Таблиця 6

Час випаровування (термін дії джерела зараження) тур, год (швидкість вітру 1 м/с)

| Найменування<br>НХР | Характер розливу                         |      |      |      |   |       |      |      |         |       |       |      |
|---------------------|--|------|------|------|---|-------|------|------|---------|-------|-------|------|
|                     | Ємності не обваловані<br>Розлив „вільно” |      |      |      | Ємності обваловані<br>Розлив у „піддон” |       |      |      |         |       |       |      |
|                     | h = 0,05 м                               |      |      |      | H = 1 м                                 |       |      |      | H = 3 м |       |       |      |
|                     | Температура повітря, °С                  |      |      |      |   |       |      |      |         |       |       |      |
|                     | -20                                      | 0    | 20   | 40   | -20                                     | 0     | 20   | 40   | -20     | 0     | 20    | 40   |
| Хлорпікрин          | 41,5                                     | 13,8 | 42,5 | 14,3 | 663,0                                   | 221,6 | 66,4 | 22,9 | рік     | 773,8 | 252,2 | 80,1 |
| Соляна кислота      | 28,5                                     | 9,5  | 2,8  | 1,8  | 457                                     | 153   | 45,7 | 28,6 | 159,8   | 533   | 160   | 99,8 |
| Сірчаний ангідрид   | 3  | 1,5  |      |      | 47,8                                    | 23,9  |      |      | 167     | 83,9  |       |      |
| Хлор                | 1,5                                      |      |      |      | 23,9                                    |       |      |      | 83,7    |       |       |      |
| Аміак               | 1,4                                      |      |      |      | 21,8                                    |       |      |      | 76,3    |       |       |      |
| Сірководень         | 1,15                                     |      |      |      | 18,4                                    |       |      |      | 64,3    |       |       |      |
| Формальдегід        | 1,2                                      |      |      |      | 19,2                                    |       |      |      | 67,2    |       |       |      |

Примітка до таблиці. 6. При швидкості вітру більше 1 м/с вводиться поправочний коефіцієнт:

|                        |   |      |     |     |      |      |
|------------------------|---|------|-----|-----|------|------|
| Швидкість вітру, м/с   | 1 | 2    | 3   | 4   | 5    | 10   |
| Поправочний коефіцієнт | 1 | 0,75 | 0,6 | 0,5 | 0,43 | 0,25 |

**Таблиця 8**

**Критерії класифікації адміністративно-територіальних одиниць (АТО) і хімічно небезпечних об'єктів (ХНО) (крім залізниць)**

| Найменування об'єкта, що класифікується     | Критерії класифікації, одиниця виміру   | Ступінь хімічної небезпеки |                   |                   |           |
|---|---|----------------------------|-------------------|-------------------|-----------|
|   |   | 1                          | 2                 | 3                 | 4         |
| 1. Хімічно небезпечний об'єкт               | Кількість населення, яке потрапляє в прогнозовану зону хімічного забруднення (ПЗХЗ) при аварії на ХНО, чол. | Більше 500                 | Більше 300 до 500 | Більше 100 до 300 | Менше 100 |
| 2. Хімічно небезпечна територіальна одиниця | Частка території, що потрапляє в зону можливого хімічного зараження (ПЗХЗ) при аварії на ХНО, %             | Більше 50                  | Більше 30 до 50   | Більше 10 до 30   | Менше 10  |

**Примітка до таблиці. 8.** За наявності на території АТО більше одного ХНО загальна площа зони забруднення (ЗМХЗ або ПЗХЗ) визначається після нанесення зон на карту. У разі перекриття зон загальна площа приймається інтегровано за ізолініями зон забруднення.

**Таблиця 9**

**Допоміжні коефіцієнти для визначення тривалості випаровування НХР**

| Найменування НХР  | Щільність НХР (рідина), т/м <sup>3</sup> | Уражаюча токсодоза, Д, мг хв./л | К <sub>1</sub> | К <sub>2</sub> залежно від температури |     |      |      |
|-------------------|--|---------------------------------|----------------|--|-----|------|------|
|                   |  |                                 |                | -20°C                                  | 0°C | 20°C | 40°C |
| Аміак             | 0,681                                    | 15                              | 0,025          | 1                                      | 1   | 1    | 1    |
| Хлор              | 1,553                                    | 0,6                             | 0,052          | 1                                      | 1   | 1    | 1    |
| Сірчаний ангідрид | 1,462                                    | 1,8                             | 0,049          | 0,5                                    | 1   | 1    | 1    |
| Сірководень       | 0,964                                    | 18,4                            | 0,042          | 1                                      | 1   | 1    | 1    |
| Соляна кислота    | 1,198                                    | 2                               | 0,021          | 0,1                                    | 0,3 | 1    | 1,6  |
| Хлорпікрин        | 1,658                                    | 0,75                            | 0,002          | 0,1                                    | 0,3 | 1    | 2,9  |
| Формальдегід      | 0,815                                    | 0,6                             | 0,034          | 1                                      | 1   | 1    | 1    |
| Фосген            | 1,432                                    | 0,6                             | 0,061          | 0,3                                    | 0,7 | 1    | 1    |

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УтаОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня  
20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 6**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних  
хімічних речовин при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

розглянути прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах.

### **Загальні методичні вказівки**

- 1.Перевірити наявність курсантів та студентів на занятті.
- 2.Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
- 3.Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ.....                                    | 5 хв.  |
| 1 Ймовірність реалізації зони зараження ..... | 35 хв  |
| 2 Оцінювання ризиків.....                     | 30 хв. |
| Висновок.....                                 | 10 хв. |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
2. Крянев А.В., Математические методы обработки неопределенных данных. – М.: Физматлит, 2003. – 216 с.
3. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. – М.: Дело, 1987. – 239 с.
4. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1 ЙМОВІРНІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗОНИ ЗАРАЖЕННЯ

Для переходу до кількісного оцінювання ризику ураження населення небезпечною хімічною речовиною необхідно враховувати той факт, що кількість уражених, відповідно до методики, залежить від площі зони зараження й часу експозиції (тривалості впливу отруйної хмари на людей). При виконанні оцінних розрахунків час експозиції беруть таким, що дорівнює часу випаровування НХР. Як уже зазначалося, площа зони зараження й час випаровування розлитої НХР є функціями погодного стану  $\Pi$ .

Далі треба розрахувати ймовірність реалізації зони зараження тієї чи іншої глибини. Для цього потрібна інформація про ймовірність реалізації відповідної комбінації метеорологічних параметрів з урахуванням того факту, що глибина зони зараження  $\Gamma$  є функцією чотирьох змінних:

$$\Gamma = \Gamma(\alpha, v, g, c), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – напрямок вітру;  $v$  – швидкість вітру;  $g$  – частка уражених серед населення, яке опинилося в зоні зараження;  $c$  – ознака наявності або відсутності хмарності.

Метеорологічні параметри зазвичай наводяться у довідниках у вигляді так званих таблиць повторюваності. Наприклад, для певного поєднання швидкості й напрямку вітру вказано число днів у році, протягом яких зазначене поєднання, як правило, реалізується. Крім інформації про повторюваність швидкостей і напрямків вітру для отримання повноцінного опису погодних станів в обсязі, необхідному для виконання розрахунків, потрібні додаткові дані про наявність хмарності. На підставі даних про повторюваність  $N$  погодних станів  $\Pi$  можна знайти оцінку ймовірності реалізації погодного стану:

$$p(\Pi) = N_{\Pi}/T,$$

де  $N_{\Pi}$  – число днів, що відповідають певному погодному стану;  $T$  – період спостережень.

Кожному погодному стану може бути поставлена в однозначну відповідність глибина зони зараження. Оскільки наведені в літературі метеорологічні дані мають дискретний і обмежений характер, то відповідна їм множина зон ураження також буде обмеженою і дискретною. Як уже зазначалось, кожному погодному стану  $\Pi$  відповідає певна ймовірність його реалізації  $p(\Pi)$ . З погодним станом однозначно пов'язана глибина  $\Gamma$  зони поширення хмари, тому кожному значенню  $\Gamma$  можна поставити у відповідність ймовірність  $p(\Pi)$ , яку надалі позначатимемо як  $p(\Gamma)$  – ймовірність реалізації відповідної зони зараження (1).

### 2 ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ

Завдання оцінювання ризику (умовного, оскільки ймовірність оцінювальної події в цьому випадку вважають такою, що дорівнює 1, тобто  $P(A)_i = 1$ ) зводиться до двох етапів:

- оцінювання ймовірності для будь-якої точки території опинитися під дією отруйної хмари;
- оцінювання розподілу ймовірного збитку (кількість або частка уражених).

Загроза для будь-якого об'єкта опинитися в зоні зараження виникає тільки тоді, коли зазначений об'єкт знаходиться з підвітряного боку відносно епіцентру аварії, а в разі оцінювання їм

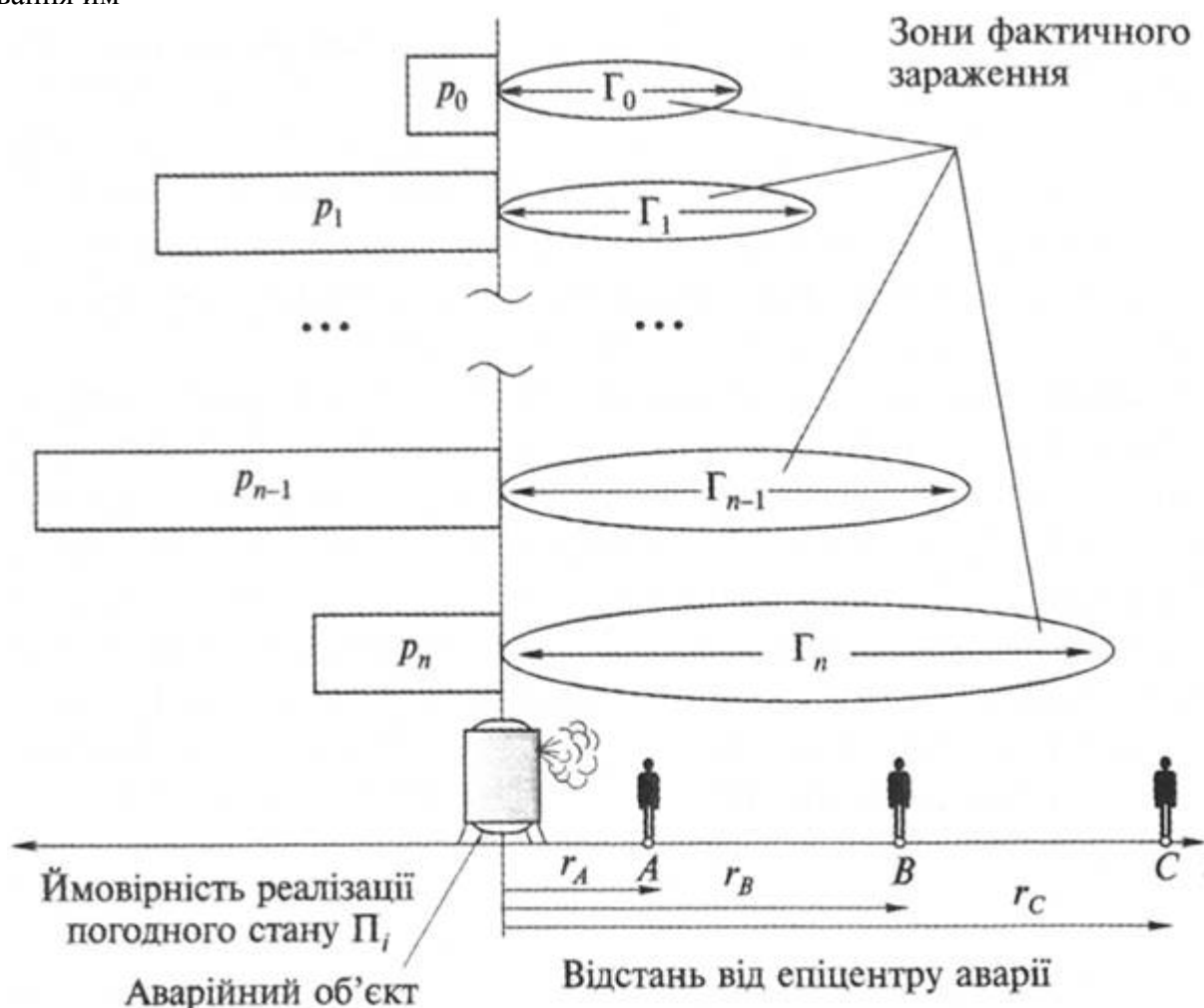


Рис. 1. Ймовірність реалізації зон зараження різної глибини

вірності реалізації цієї події треба врахувати також дальність об'єкта від епіцентру аварії. Так, існує деякий радіус, за межі якого НХР уражальної концентрації не вийде за жодних погодних умов. На рис. 1 точка С знаходиться на безпечній відстані, тобто за будь-якого ймовірного погодного стану фронт отруйної хмари не досягне зазначеної точки. З підвітряного боку можна виділити деяку відстань, що буде гарантовано перекрита зоною зараження.

На рисі точка А, що знаходиться з підвітряного боку щодо аварійного об'єкта, опиниться під дією хмари НХР за будь-якого погодного стану. Ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P(\Pi)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n p(\Pi_i) \quad (2)$$

або

$$P(\Gamma)_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n p(\Gamma_i), \quad (3)$$

де  $P_{\Sigma}$ — сумарна ймовірність усіх погодних станів, які відповідають даному напрямку вітру.

Отже, за формулами (2) і (3) визначають ймовірність опинитися під дією отруйної хмари людини, яка знаходиться у точці А.

Точка, що лежить між радіусом “гарантованого ураження” і безпечним віддаленням, опиниться під дією отруйної хмари в разі виникнення зони ураження, глибина якої перевищуватиме відстань від епіцентру аварії до розглянутої точки. На рис. 1 точка В виявиться в зоні ураження тільки за її глибини більшої, ніж  $r_B$ , тобто  $\Gamma_{n-1}$  і  $\Gamma_n$ . Ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_B = p(\Gamma_{n-1}) + p(\Gamma_n).$$

У загальному випадку для точки, що знаходиться на відстані  $r$  від епіцентру аварії, ймовірність  $P(r)$  (тобто умовний територіальний ризик) опинитися в зоні ураження розраховують за виразом

$$P(r) = \sum_i p(\Gamma_i \geq r) \quad (4)$$

або

$$P(r) = P_\Sigma \left[ 1 - \sum_i p(\Gamma_i < r) \right]. \quad (5)$$

Варто звернути увагу на те, що у формулі (4) додаються ймовірності утворення всіх зон, глибина яких більша або дорівнює  $r$ , а у формулі (5) – ймовірності утворення зон, глибина яких менша за  $r$ .

Слід зауважити, що ймовірність опинитися в зоні ураження в разі виникнення аварії в загальному випадку недостатньою мірою характеризує загрозу ураження. Не менш важливо оцінити можливість вчасного оповіщення населення про наближення фронту зараженого повітря. Населення буде оповіщено, якщо час спрацьовування системи оповіщення  $\tau$  (тобто час від початку аварії до моменту початку оповіщення) буде меншим, ніж час  $t$  підходу хмари НХР. Час  $t$  підходу хмари до об'єкта, який знаходиться на відстані  $r$  від епіцентру аварії, дорівнює:  $t = r/v$ , де  $v$  – швидкість переміщення фронту отруйної хмари, км/год.

Алгоритм розрахунку вчасного оповіщення населення про підхід фронту зараженої хмари для об'єкта, розміщеного з підвітряного боку на відстані  $r$  від епіцентру аварії, передбачає такі операції.

1. Для кожного погодного стану  $\Pi$  визначають швидкість переміщення фронту отруйної хмари повітря.

2. Знаходять час  $t$  підходу хмари до об'єкта, що знаходиться на відстані  $r$  від епіцентру аварії.

3. Перевіряють виконання умови ( $\tau < t$ ).

4. Додаються усі ймовірності  $p_i$ , для яких виконується умова ( $\tau < t$ ).

Зазначений алгоритм може бути записаний у вигляді рівняння

$$P_0(r) = \sum_i p_0(\tau \leq t_i), \quad (6)$$

де  $P_0(r)$  – ймовірність того, що населення, яке знаходиться на відстані  $r$ , буде вчасно оповіщене про підхід зараженої хмари;  $p_0(t_i)$  – ймовірність реалізації погодного стану, за якого час підходу хмари до точки, віддаленої від епіцентру на відстань  $r$ , дорівнює  $t_i$ . Додавання у формулі (6) виконується для всіх  $i$ , для яких  $\tau \leq t_i$

Ризик (умовний)  $RI(r)$ , як імовірну частку населення, яке буде уражене отруйною хмарою в точці, що знаходиться з підвітряного боку на відстані  $r$  від епіцентру аварії, розраховують за формулою

$$RI(r) = \sum_i p(\Pi_i) g_i, \quad (7)$$

де  $p(\Pi_i)$  – ймовірність реалізації погодного стану  $\Pi_i$ ;  $g_i$  – частка уражених серед населення, яке опинилося в зоні ураження;  $\Gamma_i$  – глибина зони зараження;  $r$  – відстань від розглянутої точки до епіцентру аварії.

Додавання у формулі (7) виконують для всіх  $i$ , для яких  $\Gamma_i \geq r$ .

Такий розрахунок здійснюють для різних напрямків вітру й різних значень  $r$  – від 0 до безпечної відстані. Нанісши на карту місцевості точки, що відповідають однаковим рівням збитку, і з'єднавши їх між собою, можна отримати зображення зон, які характеризують рівень небезпеки даної території з погляду ураження населення в разі виникнення аварії з викидом НХР у навколишнє середовище. Для переходу від розподіленого збитку до потенційного ризику треба помножити значення розподіленого збитку в кожній точці на ймовірність виникнення аварії на підприємстві.

Отже, аналіз і практичне використання методики прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин у разі аварій на потенційно небезпечних об'єктах підтверджує її незаперечну важливість і корисність. У методиці наведено конкретні приклади розрахунку площі зони можливого хімічного зараження та фактичного хімічного зараження, а також кількості населення, яке потрапляє в зону можливого хімічного зараження, що дає змогу полегшити її освоєння.

Проте методика має певні недоліки. Згідно з нею, коректно враховувати атмосферні характеристики можна лише за умови їх стабільності протягом періоду поширення хмари зараження. Незначна зміна атмосферних параметрів, наприклад різкі пориви вітру, початок дощу, істотно впливають на динаміку поширення хімічного забруднення в атмосфері. У зв'язку з цим навіть побудовані для оперативного реагування зони можливого і фактичного хімічного зараження не будуть достатньо повною мірою відповідати дійсності.

Крім того, у методиці відсутній алгоритм розрахунку потенційного територіального ризику ураження населення. Тому у зв'язку з розвитком інформаційних систем і технологій, автори вважають за необхідне вдосконалення цієї методики у наведених нижче основних напрямках.

1. Атмосферні умови. Головним напрямом удосконалення методики є розробка і введення до її складу математичних моделей, які враховують часову змінну атмосферних умов, зокрема напрямку вітру, температури, вологості, тиску, загального стану атмосфери. Додатково система математичних моделей має передбачати врахування просторової неоднорідності напрямку і швидкості руху повітряних мас як у горизонтальному, так і вертикальному напрямках.

2. Характеристики викиду. Для аварій на промислових об'єктах можливий такий перебіг подій. Під час аварій можливі викиди кількох речовин відразу, тому прогнозовані зони можливого і фактичного зараження треба будувати з урахуванням небезпечної дії усіх речовин. Остання редакція методики, як уже зазначалось, містить табличні дані глибини зон зараження для окремих речовин. В екстремальних випадках визначення параметрів цих зон за кількома речовинами неможливе.

3. Доповнення алгоритмом розрахунку потенційного територіального ризику ураження населення.

4. Програмна реалізація методики. Вдосконалена відповідно до викладених вимог методика прогнозування має бути програмно реалізована (комп'ютерний варіант).

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри Протокол №\_\_ від «\_\_» серпня  
20\_\_р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 8**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Поняття, чинники та найбільш розповсюджені фактори  
техногенного ризику»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути основні концепції ризику.

Вивчити об'єкти дослідження в теорії ризиків.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність слухачів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ                                   | 5 хв.  |
| 1. Історія виникнення теорії ризиків    | 15 хв. |
| 2. Концепції ризику                     | 25 хв. |
| 3. Об'єкти дослідження в теорії ризиків | 30 хв. |
| 4. Показники ризику                     | 30 хв. |
| Закінчення                              | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.

# ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

## 1. ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ ТЕОРІЇ РИЗИКІВ

Слово ризик має давнє коріння - в перекладі зі старогрецького *risicare* означає відважитися. Історія формування поняття ризик значною мірою пов'язана зі ставленням людини до майбутнього.

У Давній Греції міфологізований світогляд ґрунтувався на тому, що майбутнє повністю зумовлено волею і бажанням богів, тобто абсолютно не залежить від поведінки людини.

Виникнення світових релігій і насамперед християнства призвело до того, що майбутнє стало неоднозначним. З'явилося розуміння того, що можливість «різного» майбутнього як у теперішньому житті, так і після смерті залежить від поведінки людини. Тому з'явилася відповідальність за наслідки своїх дій.

У середні віки відбулося усвідомлення того, що майбутнє залежить не тільки від Бога. Одним з тих, хто вперше наголосив на цій проблемі, був італійський монах, професор математики Лука Начислі, що проживав у XV ст. В епоху Відродження почалося серйозне вивчення проблем, пов'язаних з ризиком. Завдяки розвитку азартних ігор і насамперед гри в кістки з'явилася можливість прогнозування майбутнього. Досліджуючи азартні ігри, французький математик, філософ і винахідник Блез Паскаль у 1654 р. звернувся за допомогою до математика П. Ферма. Результат співпраці – створення теорії ймовірностей. Вона стала величезним світоглядним і практичним стрибком, вперше дозволивши робити кількісні прогнози майбутнього. З тих пір інструменти прогнозування, подібні ворожінню, почали відходити в минуле.

На початку XVIII ст. німецький математик Г. Лейбніц висунув ідею, а швейцарський математик Я. Бернуллі (1654-1705) обґрунтував закон великих чисел і розробив процедури статистики.

З 1725 р., коли вперше урядом Англії були застосовані таблиці смертності, цей інструмент швидко поширився в усьому світі.

У 1730 р французький математик А. Муавр ввів поняття структури нормального розподілу і міру ризику - стандартне відхилення. У 1738 р Д. Бернуллі визначив очікувану корисність, на яку в кінцевому рахунку спирається сучасна теорія портфельних інвестицій. З 1763 р завдяки теоремі Байеса (теоремі гіпотез) світ дізнався, як впливає на прийняття рішень ступінь інформованості про об'єкт управління.

Таким чином, відкриття основних законів і розробка практично всіх сучасних інструментів управління ризиками відносяться до XVII-XVIII ст.

Промислова революція, соціальні потрясіння, розширення областей діяльності людини істотно збільшили сфери прояву ризику і одночасно сформували ставлення до майбутнього як частково прогнозованого стану світу.

Відзначимо, зокрема, розробку теорії статистичної регресії англійським математиком Ф. Галтоном у 1886 р.

Ризик притаманний будь-якій сфері людської діяльності, що пов'язано з безліччю умов і факторів, що впливають на результат (позитивний чи негативний) прийнятих людьми рішень.

Ризик недоотримання намічених результатів почав особливо проявлятися під час розвитку товарно-грошових відносин, конкуренції учасників господарської діяльності. Досить широку і одночасно конструктивну трактування ризику почали використовувати в страхуванні, оскільки дана сфера підприємницької діяльності безпосередньо пов'язана з існуванням і різними формами прояву ризику. Саме завдяки страхуванню сформувалося розуміння ризику як економічної категорії.

З виникненням і розвитком ринкової економіки з'являються різні теорії ризику. Одним з перших проблеми економічних ризиків розглянув американський економіст А. Маршалл, праці якого поклали початок неокласичної теорії ризиків. Американський економіст Дж.М. Кейнс ввів в науку поняття «схильність до ризику», характеризуючи інвестиційні і підприємницькі ризики, запропонував одну з перших класифікацій ризиків.

У роботі американського економіста Ф. Найта «Ризик, невизначеність і прибуток» вперше була висловлена думка про ризик як кількісну міру невизначеності. В працях американських математиків О. Моргенштерна і Дж. Неймана було встановлено взаємозв'язок понять «невизначеність» і «ризик», відображено ймовірно-математичне трактування ризику.

На початку ХХ ст. класик теорії управління французький інженер А. Файоль включив до складу основних функцій управління організацією функцію забезпечення її безпеки.

Остаточно наука про ризик сформувалася тільки в останній чверті ХХ ст. завдяки насамперед практичним потребам забезпечення безпеки в техносфері (зокрема, ядерній енергетиці та інших потенційно небезпечних технологіях) і стабільності в економіці.

## **2. КОНЦЕПЦІЇ РИЗИКУ**

Ризик – це прояв фундаментальної властивості природи: індетермінізму, неповної визначеності. В процесі пізнання і в прагненні повніше задовольнити свої потреби люди постійно намагаються розширити межі передбачуваності процесів і явищ, що викликають інтерес, заглиблюючись в них. Однак паралельний процес ускладнення антропосфери знову відсуває рішення цієї задачі. Платою людства за підвищення якості життя в процесі пізнання світу і практичного використання нових знань, які значною мірою невизначені, є ризик. Тому завдання полягає не в ухиленні від ризиків, а в їх оптимізації по відношенню до тих завдань, які ставить перед собою людина або організація.

Ризик проявляється в різних формах практично в усіх областях діяльності людини, функціонування і розвитку організацій, їх взаємодії з

навколишнім середовищем. Прояв ризику в різних сферах діяльності людини спричинило численні його трактування. Значна частина визначень поняття «ризик» пов'язана з двома твердженнями: ризик обумовлений випадковими подіями або процесами; наслідки цих подій або процесів є небажаними. Однак для повноти картини необхідно пам'ятати, що прояв ризику в загальному випадку може мати і позитивні наслідки, інакше неможливо зрозуміти, чому люди приймають на себе ризик. Поведінка, пов'язана з прийняттям ризику, являє собою балансування між випадковими втратами і випадковими винагородами.

До загальних, що визначають поняття і прояви ризику, належать такі властивості:

- ризик є багатовимірною характеристикою майбутніх станів світу;
- ризик пов'язаний з випадковими явищами і процесами;
- прояв ризику – умовна подія.

Ризик проявляється під час взаємодії людини з природою і техносферою. У зв'язку з цим можна виділити наступні області:

– об'єктивного змісту ризику, вимірного і незалежного від людського сприйняття. Його можна ідентифікувати, оцінювати та прогнозувати на базі фундаментальних закономірностей;

– суб'єктивного змісту ризику, пов'язаного з його індивідуальним сприйняттям. Дана сфера ризику відноситься до ментального стану індивідуума, який потрапляє в ситуацію невизначеності або сумнівів щодо наслідків деякої події (відповідно розрізняють дійсний і уявний ризики).

У зв'язку з тим, що ризик пов'язаний з діяльністю в умовах, з одного боку, реально існуючої невизначеності, а з іншого – вибору зацікавленим індивідуумом певних альтернатив і розрахунком ймовірності їх результату, то він являє собою діалектичну єдність об'єктивного і суб'єктивного.

З цієї точки зору ризик ототожнюється з діяльністю, пов'язаною з подоланням невизначеності в ситуації неминучого вибору, в процесі якої існує можливість кількісно і якісно оцінити ймовірність досягнення передбачуваного результату, невдачі і відхилення від мети.

В даний час на практиці використовують декілька *концепцій ризику*.

1. Враховуючи, що ризики пов'язані з перетворюючої діяльністю людини в процесі пізнання природи, дійсності, їх непізнаними сторонами, що проявляються у вигляді шкоди для людини, то найбільш часто ризик пов'язують з поняттями *небезпеки і/або загрози*. В рамках цієї концепції розглядають негативні події, які заподіюють шкоду людині і організаціям, а під ризиком розуміють можливість настання подій з негативними наслідками, тобто можливість реалізації передбачуваної небезпеки. Управління ризиками – це способи зменшення ймовірності настання негативних подій і (або) наслідків від них за допомогою заходів, які вимагають розумних витрат. Дана концепція лежить, зокрема, в основі теорії природної та техногенної безпеки.

2. Ризик існує скрізь, де є невизначеність майбутнього. Ризик тим вище, чим більш багатоваріантне майбутнє. Концепція *ризик* як *невизначеності* апелює до такого теоретичного поняття як ймовірнісний розподіл можливих (позитивних і негативних) фіналів деякої операції. При наявності невизначеності та альтернатив ризик – це можливість реалізації найгірших альтернатив. В рамках зазначеної концепції ризик є мірою невідповідності між різними результатами рішень, які оцінюють з точки зору їх корисності, шкідливості, а також ефективності за критеріями відповідності обраним орієнтирам; ступенем невизначеності економічного результату в майбутньому; можливістю появи обставин, що зумовлюють невпевненість або неможливість отримання очікуваних результатів від реалізації поставленої мети. Концепцію ризику як невизначеності використовують в теорії прийняття рішень, теорії ігор, портфельного інвестування, а ризик-менеджмент в її рамках спрямований на зменшення дисперсії між очікуваними результатами і дійсними результатами.

3. Нарешті концепція *ризик* як *можливості* заснована на взаємозв'язку між ризиком і прибутковістю. Не випадково відповідно до тлумачного словника С.І. Ожегова ризик – це дія навмання в надії на щасливий випадок. Чим вищий ризик, тим вищий потенційний прибуток. Даній концепції ризику більш близьким є поняття шансу, а ризик-менеджмент означає використання техніки максимізації прибутку при одночасному обмеженні втрат. Вона використовується при управлінні фінансовими та економічними ризиками.

Таким чином, можна дати наступне інтегральне визначення ризику: ризик – це можливість того, що дії людини або їх результати призведуть до негативних або позитивних наслідків.

### **3. ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ В ТЕОРІЇ РИЗИКІВ**

На теперішній час активно розвиваються спеціалізовані наукові дисципліни, пов'язані з дослідженням ризику, розширюються області практичного застосування методів управління ризиком. Спочатку виникнувши як одна з властивостей буденного життя, ризик став широко вживатися як термін, близький до таких філософсько-методологічних понять як «матерія», «інформація», «енергія» і т.п.

У теорії ризиків і безпеки виділяють такі *об'єкти дослідження*:

– джерела небезпеки і невизначеності у природі, техносфері, суспільстві, економіці (бізнесі) і політиці;

– об'єкти ризику або безпеки (людина; утворені нею соціальні системи; держава як вища форма соціальної організації суспільства; світове співтовариство; природне середовище як умова для подальшого стійкого розвитку людства);

– суб'єкти забезпечення безпеки – людина; організації; держава; міждержавні органи. Останні в основному формують з метою забезпечення

міжнародної безпеки, недопущення загальної ядерної війни, вирішення глобальних проблем сучасності, наприклад глобального потепління, хоча вони можуть вирішувати і приватні задачі – аж до громадянських прав окремої людини;

– зв'язки між джерелами небезпеки і об'єктами безпеки – небезпечні процеси, що відбуваються в джерелах небезпеки і реалізуються у вигляді небезпечних явищ; негативні тенденції розвитку, що призводять до криз; нестабільність ділового, правового навколишнього середовища, що призводить при прийнятті рішень в умовах невизначеності до можливості як невдачі, так і удачі;

– системи захисту об'єктів ризику, що створюються суб'єктами забезпечення безпеки (системи особистої, колективної і глобальної безпеки).

#### 4. ПОКАЗНИКИ РИЗИКУ

Історично першим для вимірювання ризику використовувався підхід, що ґрунтувався на вимірюванні збитків у несприятливій ситуації (описується у книзі «Логіка, мистецтво мислити», що видана у французькому монастирі Порт-Рояль у 1662 р.). Найпростішою мірою ризику при даному підході є пара: ймовірність  $Q$  небажаної події та наслідки  $w$  у випадку її настання. Обидва показники можуть бути мультиплікативним чином поєднані в один:  $R = Q \cdot w$ , що дозволяє порівнювати ситуації з різними наслідками та ймовірностями їх настання. Використовувати ймовірність втрат як кількісну міру ризику вперше запропонував французький математик А. Муавр на початку XVIII ст.

Існування суб'єктивної складової ризику потребувало залучення нових вимірників, до яких можна віднести лінгвістичні змінні та суб'єктивну ймовірність.

В рамках концепції ризику як небезпеки залежно від можливості формалізації задачі та наявної вихідної інформації використовують такі показники:

– кількісні;

– якісні, які застосовують тоді, коли відсутня можливість кількісних оцінок (необхідні статистичні дані, моделі). Для їх визначення використовують експертне оцінювання.

Різні кількісні та якісні показники необхідні для забезпечення порівняння ступеня ризику для людини, різних соціальних систем, видів діяльності, причин (джерел небезпеки), обґрунтованого і раціонального вибору, для реалізації проектів за наявності альтернатив.

*Кількісні показники.* Кількісно ризик найчастіше визначається як можливість реалізації певної небезпеки, можливість настання подій з негативними наслідками, тобто характеризується сукупністю двох властивостей:

1) можливістю заподіяння шкоди. Тому ризик часто пов'язують з розміром  $w$  збитків від негативної події або небезпечного явища, як правило, в натуральному (кількість постраждалих і загиблих, розмір зони дії небезпечних факторів) або вартісному виразі. Розрізняють збиток від реальної (проводять оцінку фактичної шкоди) і гіпотетичної негативної події.

Якщо розглядають гіпотетичну негативну подію, то про відповідні види збитків говорять як про передбачувані. Для різних сценаріїв розвитку небезпечного явища у надзвичайну ситуацію розрахунковим методом прогнозують різні значення збитку;

2) невизначеністю настання небезпечної події  $Q$ . Якщо настання події закономірне, то її ймовірність дорівнює 1 і ризику немає; якщо події на розглянутому інтервалі часу є масовими і, отже, цілком передбачуваними, то ймовірність їх настання за розглянутий інтервал часу наближається до 1. Тоді ризику також немає, хоча збиток є. Однак якщо роль відіграє і розкид збитку, то ризик все ж таки є, а для його виміру використовують показники невизначеності.

Таким чином, показником ризику в рамках концепції ризику як безпеки є наступний вираз:

$$\begin{aligned} \text{Показник ризику} \left[ \frac{\text{Збитки}}{\text{Час}} \right] &= \\ &= \text{Частота} \left[ \frac{\text{Події}}{\text{Час}} \right] \times \text{Середні збитки} \left[ \frac{\text{Збитки}}{\text{Події}} \right]. \end{aligned}$$

*Якісні показники.* Розробка моделей для ймовірності реалізації негативної події та вартісного виразу різноманітних збитків для всіх об'єктів впливу є достатньо трудомісткою. Тому на практиці часто використовують якісні методи, що ґрунтуються на встановленні категорій ймовірності  $Q$  (реалізуємості) та наслідків  $w$ , а потім присвоєнні кожній категорії відповідного рейтингу. Сполучаючи дані дві моделі можна побудувати матрицю якісно-кількісних характеристик ризику  $R = Q \cdot w$ , елементи якої для певного об'єкта одержують добутком компонент, що складають ризик. Аналіз даної матриці дозволить зробити висновки стосовно рівня ризику на відповідному об'єкті.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 9**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Показники техногенного ризику»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути визначення кількісних та якісних показників техногенного ризику.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність слухачів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|  |        |
|--|--------|
| Вступ                                      | 5 хв.  |
| 1. Кількісні показники техногенного ризику | 20 хв. |
| 2. Якісні показники техногенного ризику    | 50 хв. |
| Закінчення                                 | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

Історично першим для вимірювання ризику використовувався підхід, що ґрунтувався на вимірюванні збитків у несприятливій ситуації (описується у книзі «Логіка, мистецтво мислити», що видана у французькому монастирі Порт-Рояль у 1662 р.). Найпростішою мірою ризику при даному підході є пара: ймовірність  $Q$  небажаної події та наслідки  $w$  у випадку її настання. Обидва показники можуть бути мультиплікативним чином поєднані в один:  $R = Q \cdot w$ , що дозволяє порівнювати ситуації з різними наслідками та ймовірностями їх настання. Використовувати ймовірність втрат як кількісну міру ризику вперше запропонував французький математик А. Муавр на початку XVIII ст.

Існування суб'єктивної складової ризику потребувало залучення нових вимірників, до яких можна віднести лінгвістичні змінні та суб'єктивну ймовірність.

В рамках концепції ризику як небезпеки залежно від можливості формалізації задачі та наявної вихідної інформації використовують такі показники:

- кількісні;
- якісні, які застосовують тоді, коли відсутня можливість кількісних оцінок (необхідні статистичні дані, моделі). Для їх визначення використовують експертне оцінювання.

Різні кількісні та якісні показники необхідні для забезпечення порівняння ступеня ризику для людини, різних соціальних систем, видів діяльності, причин (джерел небезпеки), обґрунтованого і раціонального вибору, для реалізації проектів за наявності альтернатив.

### 1. КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ

Кількісно ризик найчастіше визначається як можливість реалізації певної небезпеки, можливість настання подій з негативними наслідками, тобто характеризується сукупністю двох властивостей:

1) можливістю заподіяння шкоди. Тому ризик часто пов'язують з розміром  $w$  збитків від негативної події або небезпечного явища, як правило, в натуральному (кількість постраждалих і загиблих, розмір зони дії небезпечних факторів) або вартісному виразі. Розрізняють збиток від реальної (проводять оцінку фактичної шкоди) і гіпотетичної негативної події.

Якщо розглядають гіпотетичну негативну подію, то про відповідні види збитків говорять як про передбачувані. Для різних сценаріїв розвитку небезпечного явища у надзвичайну ситуацію розрахунковим методом прогнозують різні значення збитку;

2) невизначеністю настання небезпечної події  $Q$ . Якщо настання події закономірне, то її ймовірність дорівнює 1 і ризику немає; якщо події на розглянутому інтервалі часу є масовими і, отже, цілком передбачуваними, то

ймовірність їх настання за розглянутий інтервал часу наближається до 1. Тоді ризику також немає, хоча збиток є. Однак якщо роль відіграє і розкид збитку, то ризик все ж таки є, а для його виміру використовують показники невизначеності.

Таким чином, показником ризику в рамках концепції ризику як небезпеки є наступний вираз:

$$\begin{aligned} \text{Показник ризику} \left[ \frac{\text{Збитки}}{\text{Час}} \right] &= \\ &= \text{Частота} \left[ \frac{\text{Події}}{\text{Час}} \right] \times \text{Середні збитки} \left[ \frac{\text{Збитки}}{\text{Події}} \right]. \end{aligned}$$

*Задача 1.* Розглядають 2 варіанти системи енергопостачання об'єкта. Частота аварії для першого дорівнює  $10^{-1}$  1/рік, а для другого –  $10^{-3}$  1/рік. Можливі збитки у випадку аварії першої системи складають 2 млн. грн., а другої – 100 млн. грн. Який проект є кращим з точки зору безпеки?

*Розв'язок.*

Ризик експлуатації першої системи складає:

$$R_1 = Q_1 \cdot w_1 = 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^5 \text{ грн./рік.}$$

Відповідно для другого варіанта:

$$R_2 = Q_2 \cdot w_2 = 10^{-3} \cdot 10^8 = 10^5 \text{ грн./рік.}$$

Оскільки  $R_2 < R_1$ , то другий варіант є кращим з точки зору безпеки.

## **2. ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ**

Розробка моделей для ймовірності реалізації негативної події та вартісного виразу різноманітних збитків для всіх об'єктів впливу є достатньо трудомісткою. Тому на практиці часто використовують якісні методи, що ґрунтуються на встановленні категорій ймовірності  $Q$  (реалізуємості) та наслідків  $w$ , а потім присвоєнні кожній категорії відповідного рейтингу. Сполучаючи дані дві моделі можна побудувати матрицю якісно-кількісних характеристик ризику  $R = Q \cdot w$ , елементи якої для певного об'єкта

одержують добутком компонент, що складають ризик. Аналіз даної матриці дозволить зробити висновки стосовно рівня ризику на відповідному об'єкті.

*Задача 2.* Необхідно визначити якісний показник ризику виникнення аварії на екологічно небезпечному об'єкті, для якого якісні характеристики реалізуємості та наслідків задані у табл. 1 і 2. Матриця якісно-кількісних характеристик ризику наведена у табл. 3.

Таблиця 1. Характеристика реалізуємості ризиків

| Рівень реалізуємості $Q$ | Ступінь реалізуємості | Опис реалізуємості   | Відповідна кількісна оцінка $Q$ , 1/рік |
|--------------------------|-----------------------|--|---|
| 1                        | Неймовірно            | Подія може виникнути тільки у виключних обставинах. Скоріше за все, подія не виникне за весь час існування системи | $<10^{-3}$                              |
| 2                        | Малоймовірно          | Подія навряд чи виникне протягом часу існування системи, але виключати її з розгляду не доцільно                   | 0,001 – 0,01                            |
| 3                        | Ймовірно              | Подія може виникнути у деяких випадках (виникає у середньому 1 раз за час існування системи)                       | 0,01 – 0,1                              |
| 4                        | Достатньо ймовірно    | Подія буде виникати при більшості обставин (виникає декілька разів за час існування системи)                       | 0,1 – 0,5                               |
| 5                        | Майже напевно         | Очікується, що подія буде виникати при всіх обставинах (виникає достатньо часто за час існування системи)          | $>0,5$                                  |

Таблиця 2. Якісна характеристика наслідків подій

| Рівень наслідків $w$ | Ступінь наслідків | Опис наслідків  | Відповідна кількісна оцінка $w$ , \$/аварія |
|----------------------|-------------------|---|---|
| 1                    | Незначні          | Відсутні травми, незначні ушкодження, викиди  | $<10^3$                                     |
| 2                    | Малі              | Малі ушкодження, незначні травми, швидка ліквідація наслідків власними силами   | $10^3 - 10^4$                               |
| 3                    | Помірні           | Ушкодження середньої ступені важкості, незначні порушення функцій об'єкта, травми з тимчасовою втратою працездатності                 | $10^4 - 10^5$                               |
| 4                    | Значні            | Нещасні випадки з довготривалою втратою працездатності, невеликі руйнування, значне порушення функцій об'єкта, значні аварійні викиди | $10^5 - 10^6$                               |
| 5                    | Катастрофічні     | Летальні випадки, значні руйнування, повне порушення функцій об'єкта, ліквідація наслідків потребує значних ресурсів                  | $>10^6$                                     |

Таблиця 3. Матриця якісно-кількісних характеристик ризику

| Реалізуємість,<br>$Q$ | Наслідки, $w$ |    |    |    |    |
|-----------------------|---------------|----|----|----|----|
|                       | 1             | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 1                     | 1             | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 2                     | 2             | 4  | 6  | 8  | 10 |
| 3                     | 3             | 6  | 9  | 12 | 15 |
| 4                     | 4             | 8  | 12 | 16 | 20 |
| 5                     | 5             | 10 | 15 | 20 | 25 |

Для оцінки ризику виникнення аварії враховують судження 10 експертів, що зведені у таблицю 4.

Таблиця 4. Оцінка експертами ризику виникнення аварії

| № експерта | Оцінка $Q$ | Оцінка $w$ |
|------------|------------|------------|
| 1          | 3          | 2          |
| 2          | 4          | 1          |
| 3          | 2          | 2          |
| 4          | 4          | 3          |
| 5          | 1          | 4          |
| 6          | 2          | 3          |
| 7          | 3          | 2          |
| 8          | 4          | 4          |
| 9          | 2          | 4          |
| 10         | 4          | 1          |

Необхідно прийняти рішення стосовно управління ризиком виникнення аварії на екологічно небезпечному об'єкті.

*Розв'язок.*

Обробка суджень експертів дозволила визначити середні значення реалізує мості та наслідків ризику:

$$\bar{Q} = 2,9; \bar{w} = 2,6.$$

Тоді якісно-кількісна оцінка ризику:

$$\bar{R} = \bar{Q} \cdot \bar{w} = 2,9 \cdot 2,6 = 7,54.$$

Відповідно до табл. 3 можна виділити наступні області ризику:

- безумовно припустимого ризику ( $\bar{R} < 5$ );
- обмежено припустимого ризику ( $5 \leq \bar{R} < 15$ );
- неприпустимого ризику ( $\bar{R} \geq 15$ ).

Таким чином, даний об'єкт знаходиться в області обмежено припустимого рівня ризику. У табл. 5 наведені характеристики ризику та необхідні дії щодо зменшення його рівня.

Таблиця 5. Характеристика ризику

| Категорія     | $R$       | Необхідні дії  | Прийнятність                            |
|---------------|-----------|--|---|
| Екстремальний | $>20$     | Необхідні негайні дії  | Неприпустимий<br>(надмірний)            |
| Високий       | $15 - 20$ | Необхідна підвищена увага керівництва та відповідальних осіб |   |
| Середній      | $10 - 15$ | Необхідне визначення відповідальних осіб                     | Обмежено<br>припустимий<br>(прийнятний) |
| Низький       | $5 - 10$  | Застосовуються звичайні процедури управління                 |   |
| Незначний     | $<5$      | –  | Безумовно<br>припустимий                |

Відповідно до табл. 5, на даному об'єкті необхідно застосовувати звичайні процедури управління.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УОДСЦЗ

О.О. Пискалова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 10**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Загальна процедура побудови і оцінки дерева несправностей»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути загальну процедуру та методи побудови дерева несправностей.

Вивчити визначення якісної та кількісної оцінок дерева несправностей.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність слухачів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ   | 5 хв.  |
| 1. Загальна процедура побудови дерева несправностей | 10 хв. |
| 2. Методи побудови дерева несправностей             | 30 хв. |
| 3. Якісна оцінка дерева несправностей               | 20 хв. |
| 4. Кількісна оцінка дерева несправностей            | 10 хв. |
| Закінчення  | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.

2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.

3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.

4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.

## **ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ**

### **1. ЗАГАЛЬНА ПРОЦЕДУРА ПОБУДОВИ ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

Процедура побудови несправностей включає, як правило, наступні етапи:

1. Визначення небажаної (завершальної) події у системі, що розглядається.

2. Ретельне вивчення можливої поведінки та передбачуваного режиму використання системи.

3. Визначення функціональних властивостей подій більш високого рівня для виявлення причин тих чи інших несправностей системи і проведення більш глибокого аналізу поведінки системи з метою виявлення логічного взаємозв'язку подій більш низького рівня, здатних привести до відмови системи.

4. Побудова дерева несправностей для логічно пов'язаних подій на вході. Ці події повинні визначатись у термінах ідентифікованих незалежних первинних відмов.

5. Щоб отримати кількісні результати для завершальної небажаної події дерева, необхідно задати вірогідність відмови, коефіцієнт неготовності, інтенсивність відмов, інтенсивність відновлення та інші показники, що характеризують первинні події, за умовою, що події дерева несправностей не є надлишковими.

Більш строгий і систематичний аналіз передбачає виконання таких процедур, як визначення меж системи, побудова дерева несправностей, якісна оцінка, кількісна оцінка.

#### *Визначення меж системи*

Зазвичай система зображується у вигляді блок-схеми, що показує усі функціональні взаємозв'язки і елементи. При побудові дерева несправностей виключно важливу роль набуває правильне завдання кордонних умов, які не слід плутати із фізичними кордонами системи.

Однією із основних вимог, що пред'являються до кордонних умов, є завдання завершальної небажаної події, встановлення якої потребує особливої ретельності, оскільки саме для неї як для основної відмови системи будується дерево несправностей. Крім цього, щоб аналіз, що проводиться, був зрозумілий усім зацікавленим особам, дослідник повинен скласти перелік усіх допущень, що приймаються при визначенні системи і побудові дерева несправностей.

### **2. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

Основною метою побудови дерева несправностей є символічне представлення існуючих у системі умов, здатних визвати її відмову. Крім того, побудоване дерево дозволяє показувати у явному вигляді слабкі місця

системи і є наочним засобом представлення та обґрунтування рішень, що приймаються, а також засобом дослідження компромісних співвідношень або встановлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам.

Зазвичай передбачається, що дослідник, перш ніж приступити до побудови дерева несправностей, ретельно вивчає систему. Тому опис системи повинен бути частиною документації, що складається у ході такого вивчення.

В залежності від конкретних цілей аналізу дерева несправностей для побудови останнього спеціалісти з надійності зазвичай використовують або метод первинних відмов, або метод вторинних відмов, або метод ініційованих відмов.

*Метод первинних відмов.* Відмова елементу називається *первинною*, якщо вона відбувається у розрахункових умовах функціонування системи. Побудова дерева несправностей на основі обліку лише первинних відмов не представляє великої складності, так як дерево будується лише до тієї точки, де ідентифіковані первинні відмови елементів викликають відмову системи.

Розглянемо приклад.

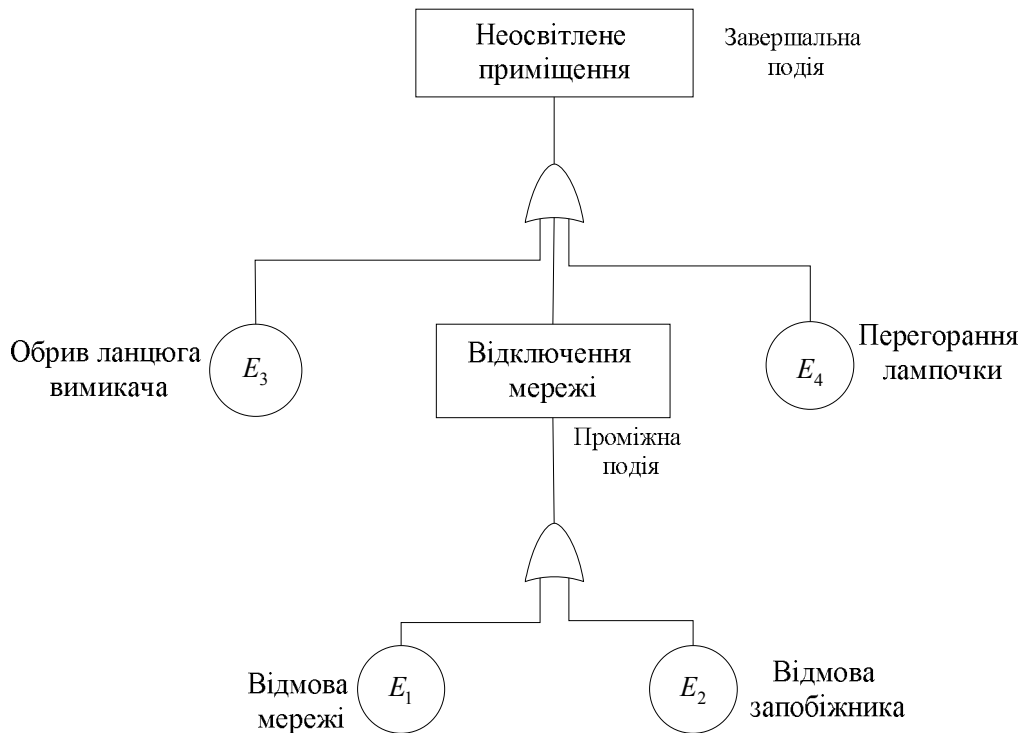
*Приклад 1.* Необхідно побудувати дерево несправностей для простої системи – кімнати, в якій є вимикач і електрична лампочка. Вважається, що відмова вимикача полягає лише у тому, що він не замикається, а завершальною подією є відсутність освітлення у кімнаті.

Дерево несправностей для цієї системи показано на рис. 1. Основними, або первинними, подіями дерева несправностей є (1) відмова джерела живлення  $E_1$ , (2) відмова запобіжника  $E_2$ , (3) відмова вимикача  $E_3$  та (4) перегорання лампочки  $E_4$ .

Проміжною подією є припинення подачі електроенергії. Найбільший інтерес представляє завершальна подія – «відсутність світла у кімнаті», й тому саме їй приділяється основна увага при аналізі. Дерево несправностей, що зображене на рис. 1, показує, що вихідні події представляють собою виходи схем АБО: при настанні будь якого з чотирьох первинних подій  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  здійснюється завершальна подія (відсутність світла у кімнаті).

*Метод вторинних відмов.* Щоб аналіз охоплював й вторинні відмови, потрібно більш глибоке дослідження системи. При цьому аналіз виходить за рамки розгляду системи на рівні відмов її постійних елементів, оскільки вторинні відмови викликаються несприятливим впливом навколишніх умов або надмірним навантаженням на елементи системи в процесі експлуатації.

*Приклад 2.* На рис. 2 показано дерево несправностей з завершальною подією «припинення вироблення електроенергії генератором». Дерево відмов відображує такі первинні події, як відмова вимикача (відсутність замикання), несправності внутрішніх ланцюгів двигуна, джерела живлення та запобіжника. Вторинні відмови зображуються прямокутником як проміжна подія. Вторинні відмови, зображені на рис. 2, відбуваються внаслідок незадовільного технічного обслуговування, несприятливого впливу зовнішнього середовища, стихійного лиха та ін.

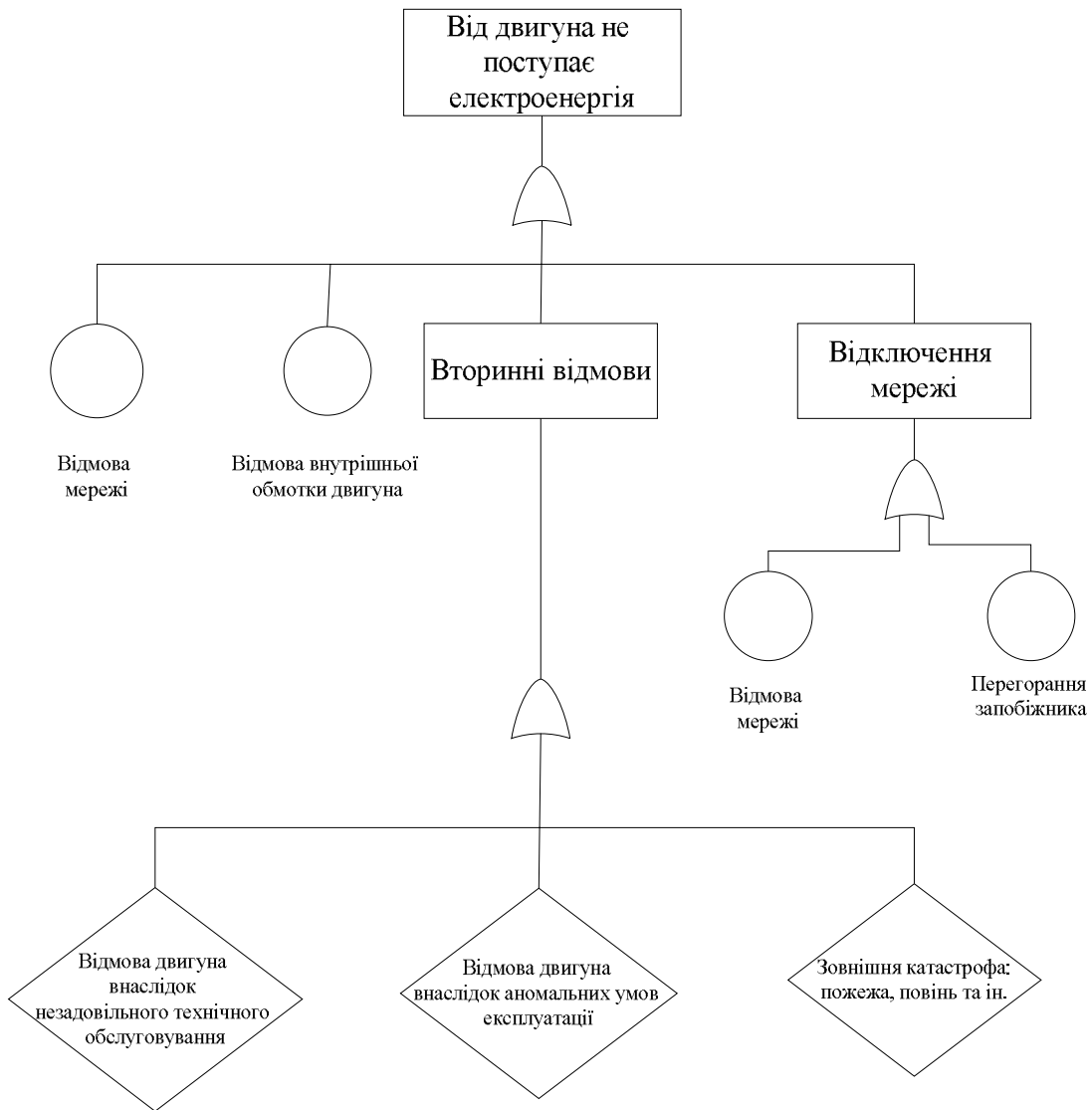


**Рис. 1 – Дерево несправностей для випадку первинних відмов**

*Метод ініційованих відмов.* Подібні відмови виникають при правильному використанні елементу, але у невстановлений час або у недозволеному місці. Іншими словами, ініційовані відмови – це збої операцій координації подій на різних рівнях дерева несправностей: від первинних відмов до завершальної події (небажаного або кінцевого). Типовим прикладом ініційованої відмови є надходження помилкового сигналу на будь-який електротехнічний пристрій (наприклад, двигун або перетворювач). Взаємозв'язок між основними та ініційованими відмовами показано на рис. 3.

### **3. ЯКІСНА ОЦІНКА ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

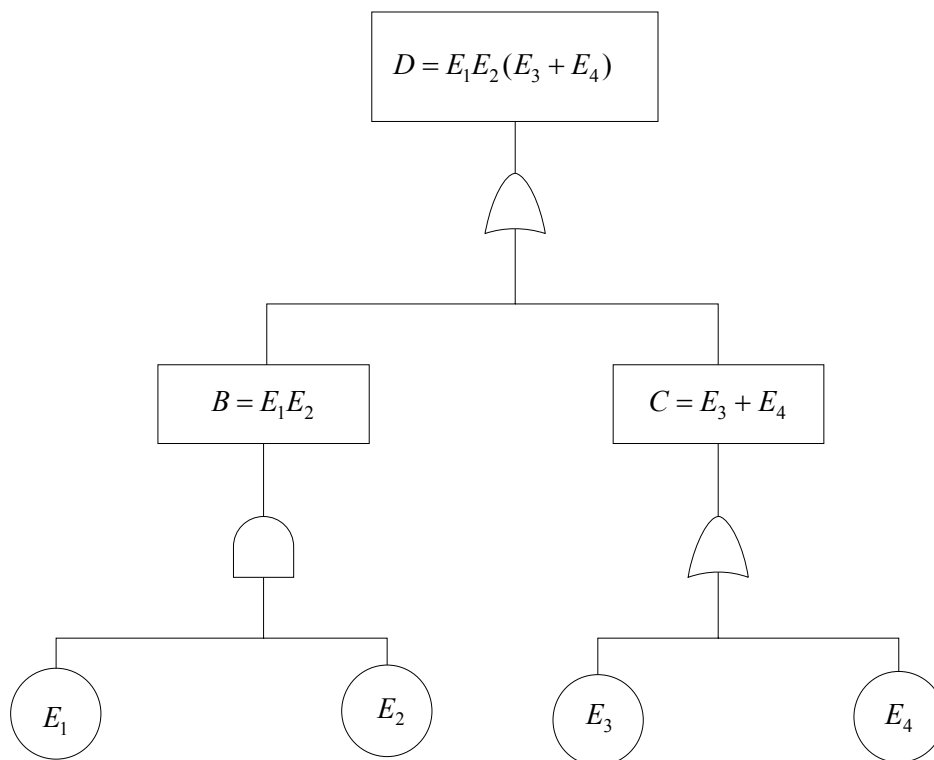
Підхід, що викладається нижче, заснований на використанні так званих мінімальних перерізів дерева несправностей. Переріз визначається як множина елементарних подій, що приводять до небажаного результату. Якщо із множини подій, що належать деякому перерізу, неможливо виключити жодної та у той же час ця множина подій приводить до небажаного результату, то у цьому випадку говорять про наявність *мінімального перерізу*. Виявлення мінімальних перерізів є виснажливим заняттям, й для їх знаходження потрібен машинний алгоритм. Приклад якісної оцінки дерева несправностей представлений на рис. 4.



**Рис. 2 – Дерево несправностей на випадок вторинних відмов**



**Рис. 3 – Дерево несправностей для випадку основних й ініційованих відмов**



**Рис. 4 – Дерево несправностей для гіпотетичного випадку**

Проміжна відмова може з'явитись тільки у тому випадку, коли має місце обидві події  $E_1$  та  $E_2$ . Що стосується проміжної події  $C$ , то вона може відбутись тільки при появі події  $E_3$  або  $E_4$ . Завершальна подія настає тільки при появі одночасно проміжних подій  $B$  та  $C$ .

#### **4. КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

Подібна оцінка проводиться на основі інформації про такі кількісні показники надійності для завершальної події, як вірогідність відмови, інтенсивність відмов або інтенсивність відновлень. Спочатку розраховують показники надійності елементу, потім знаходять критичний шлях й, нарешті, оцінюють завершальну подію.

Кількісна оцінка дерева відбувається або за допомогою статистичного моделювання, або аналітичним методом.

У першому випадку дерево несправностей моделюється на ПЕОМ зазвичай для декількох тисяч або навіть мільйонів циклів функціонування системи. При цьому основними етапами моделювання є:

- Завдання показників надійності для елементарних подій;
- Представлення всього дерева несправностей на ПЕОМ;
- Складання переліку відмов, що призводять до завершальної події, та переліку відповідних мінімальних перерізів;

- Обчислення потрібних кінцевих результатів.  
У другому випадку використовуються існуючі аналітичні методи.

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УОДСЦЗ

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 11**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Характерна конфігурація дерева несправностей з подіями, що  
повторюються. Побудова спрощеного дерева несправностей»**



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути дерево несправностей з подіями, що повторюються.

Вивчити алгоритм знаходження мінімальних перерізів.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність слухачів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

### **План лекції:**

|  |        |
|--|--------|
| Вступ  | 5 хв.  |
| 1. Дерево несправностей з подіями, що повторюються | 20 хв. |
| 2. Алгоритм знаходження мінімальних перерізів      | 40 хв. |
| 3. Подвійність дерева несправностей                | 10 хв. |
| Закінчення   | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.

2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.

3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.

4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1. ДЕРЕВО НЕСПРАВНОСТЕЙ З ПОДІЯМИ, ЩО ПОВТОРЮЮТЬСЯ

Характерна конфігурація такого дерева несправностей показана на рис. 1.

У цьому випадку дерево несправностей можна представити за допомогою наступних булевих виразів:

$$\begin{aligned}T &= C \cdot V_0, & V_1 &= A_1 + A_2, \\V_0 &= V_1 \cdot V_2, & V_2 &= A_1 + A_3.\end{aligned}$$

Підставляючи до першого виразу співвідношення для  $V_0$ ,  $V_1$  та  $V_2$  отримуємо

$$T = C \cdot (A_1 + A_2) \cdot (A_1 + A_3).$$

Згідно рис. 3.5, відмова  $A_1$  є елементарною подією, що повторюється, тому отриманий вираз необхідно спростити, використовуючи розподільчий закон булевої алгебри.

У результаті отримуємо

$$T = C \cdot [A_1 + A_2 \cdot A_3],$$

й початкове дерево несправностей (рис. 1) приймає вигляд, що показаний на рис. 2

Таким чином, перш ніж знаходити кількісні показники надійності, слід спростити вирази з подіями, що повторюються, використовуючи властивості булевої алгебри, у протилежному випадку будуть отримані помилкові кількісні оцінки. У літературі описані різні алгоритми побудови дерева несправностей із подіями, що повторюються. Розглянемо один з таких алгоритмів.

### 2. АЛГОРИТМ ЗНАХОДЖЕННЯ МІНІМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ

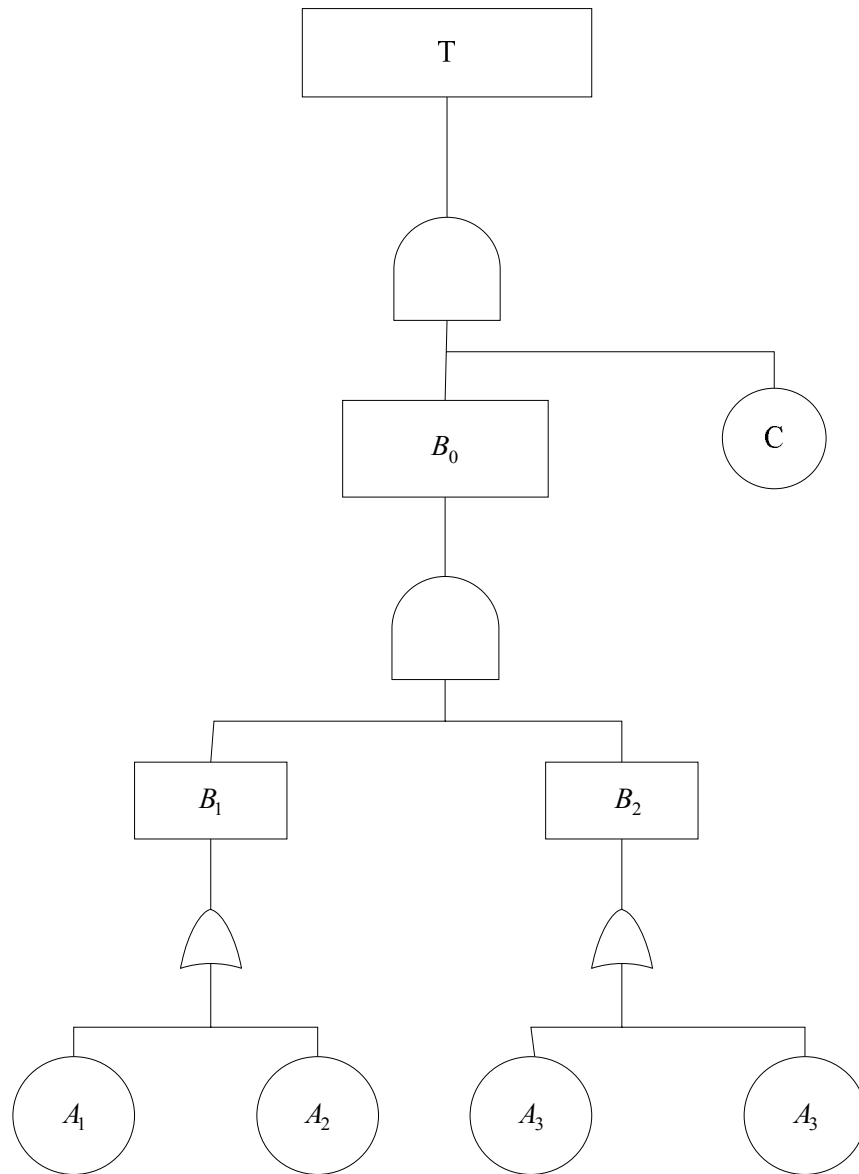
Спочатку введемо поняття перерізу і мінімального перерізу.

Переріз – це сукупність основних подій, здійснення яких викликає настання завершальної події.

Переріз називається мінімальним, якщо число подій, що йому належать, не може бути зменшено й воно як і раніше призводить до настання завершальної події.

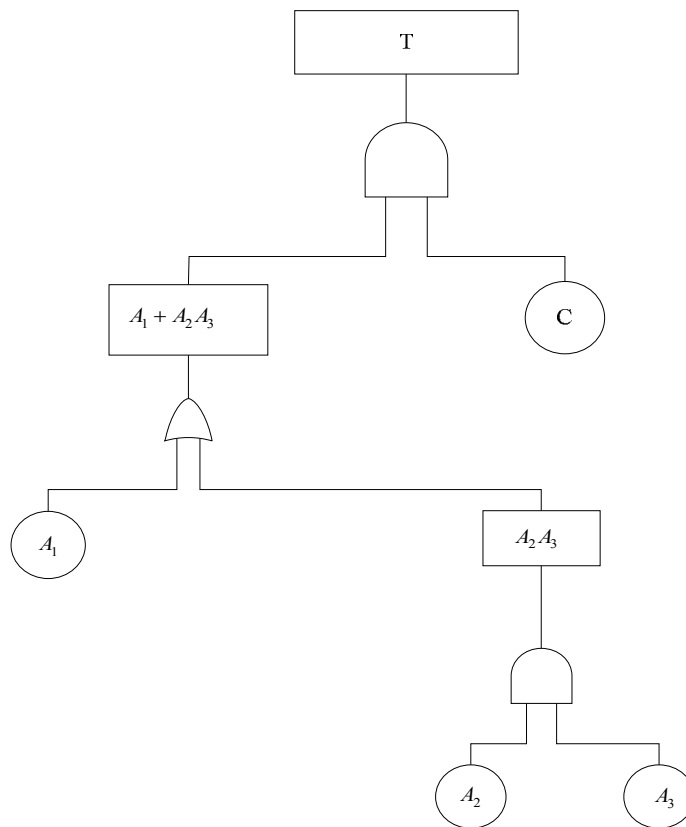
У випадку простих дерев розглянутий тут алгоритм може бути використаний для ручного розрахунку. Однак для складних дерев з сотнями логічних схем і елементарних подій необхідна обчислювальна машина.

Алгоритм, що пропонується дуже ефективний. Він враховує той факт, що схема ТА завжди збільшує розмірність перерізу, а схема АБО збільшує число перерізів.



**Рис. 1 – Дерево відмов у випадку подій, що повторюються  $A_1, A_2, A_3$  та  $C$  – елементарні події,  $B_0, B_1, B_2$  – проміжні події,  $T$  – завершальна подія**

*Приклад 1.* Звернемось до дерева несправностей, що приведено на рис. 3. Робота алгоритму починається з логічного вузла GT0, що зображений під прямокутником, який відповідає завершальній події. Як випливає з вище сказаного про дерева несправностей, логічний вузол завершальної події може бути або схемою ТА, або схемою АБО.



**Рис. 2 – Спрощене дерево несправностей**

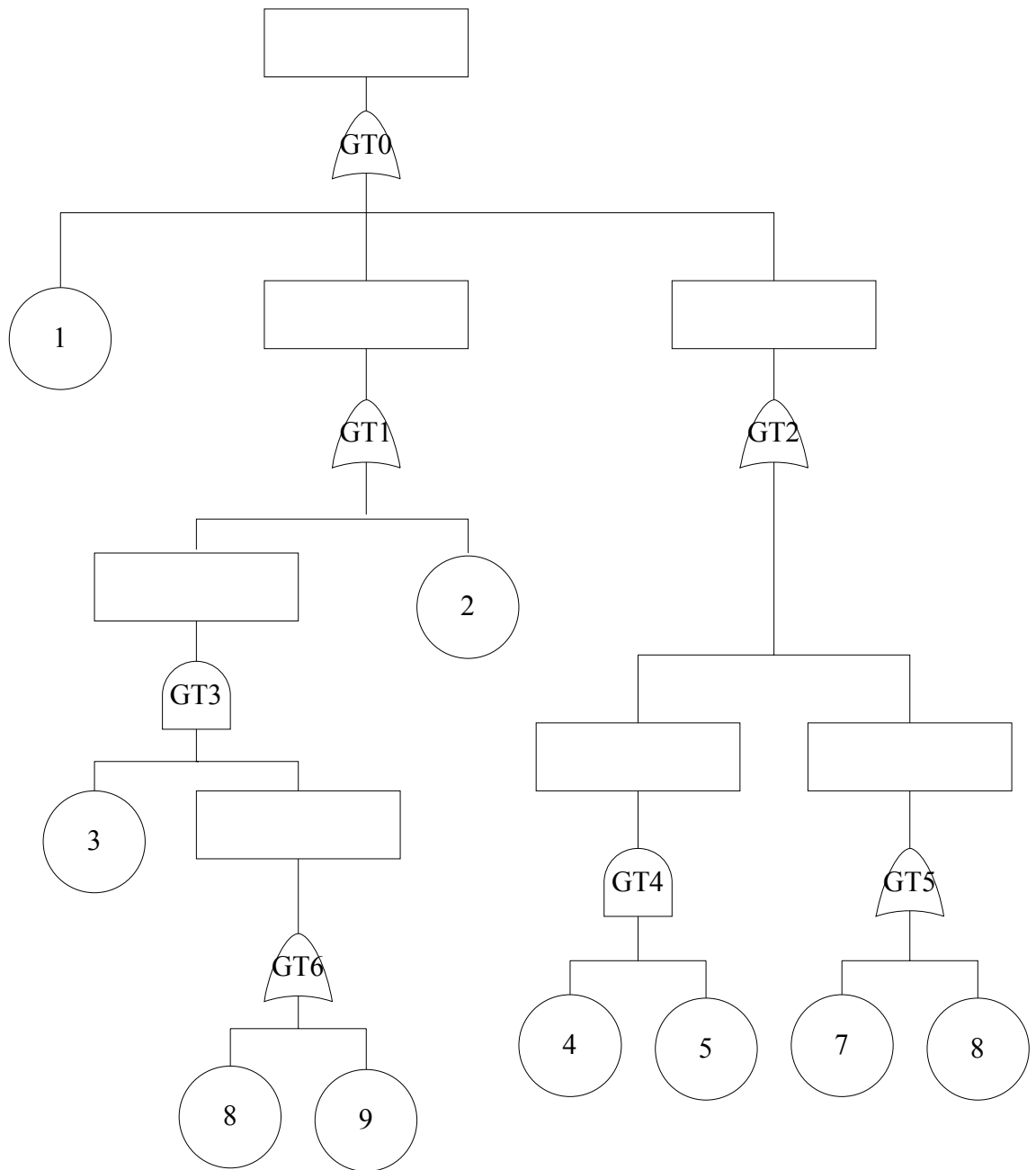
Однак якщо логічний вузол кінцевої події GT0 є схемою АБО, то кожен її вхід відповідає елементу певного рядка матричного списку. У той же час у випадку схеми ТА кожен вхід є елементом деякого стовпця матричного списку. Наприклад, логічний вузол кінцевої події GT0 є схемою АБО, тому складання матричного списку починається з запису подій на вході схем GT1 та GT2 (вихідних подій) в одному стовпці, але у різних рядках (крок 1)<sup>1</sup>.

Будь-яка подія на вході схеми АБО викликає появу події на її виході. Тому події на вході схеми GT0 є елементами окремих перерізів.

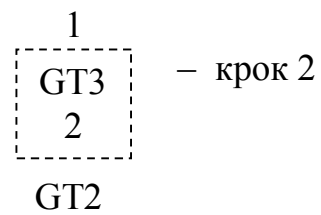
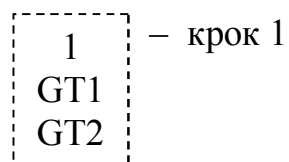
При використанні цього методу застосовується просте правило, що складається з заміни кожної логічної схеми подіями на її вході. Входи можуть бути виходами логічних схем або елементарними подіями, поки всі логічні схеми дерева несправностей не будуть замінені елементарними подіями. На цьому складання матричного списку завершується.

Щоб отримати завершений матричний список, замінюємо схему АБО GT1 подіями на її вході, які записуються в окремі рядки, як показано нижче (крок 2):

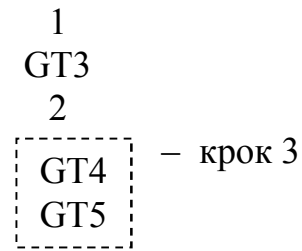
<sup>1</sup> штриховий лінією виділяється кінцевий результат кожного кроку.



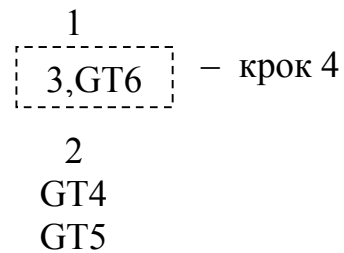
**Рис. 3 – Дерево подій**



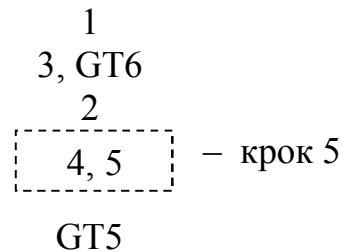
Аналогічно замінюємо схему GT2 подіями на її вході (крок 3):



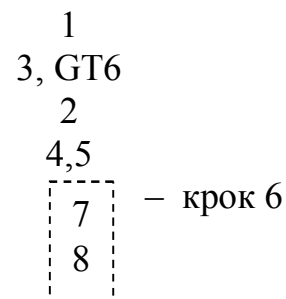
Так само чинимо і зі схемою GT3, але оскільки ця схема ТА, вона замінюється подіями на її вході (крок 4):



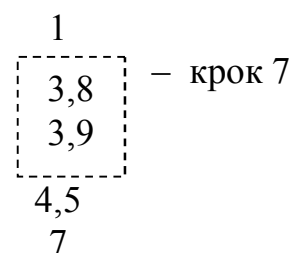
Аналогічно схема GT4 замінюється подіями на її вході (крок 5):



Оскільки схема GT5 є схемою АБО, вона замінюється вхідними подіями 7, 8 (крок 6):



Вузол GT6 також представляє собою схему АБО, яка замінюється подіями 8 та 9 на її вході (крок 7):



Як бачимо, з цього матричного списку, переріз 8 містить єдину подію. Тому, виключаючи переріз {3, 8}, отримуємо наступні мінімальні перерізи:

1  
2  
7  
8  
3,9  
4,5

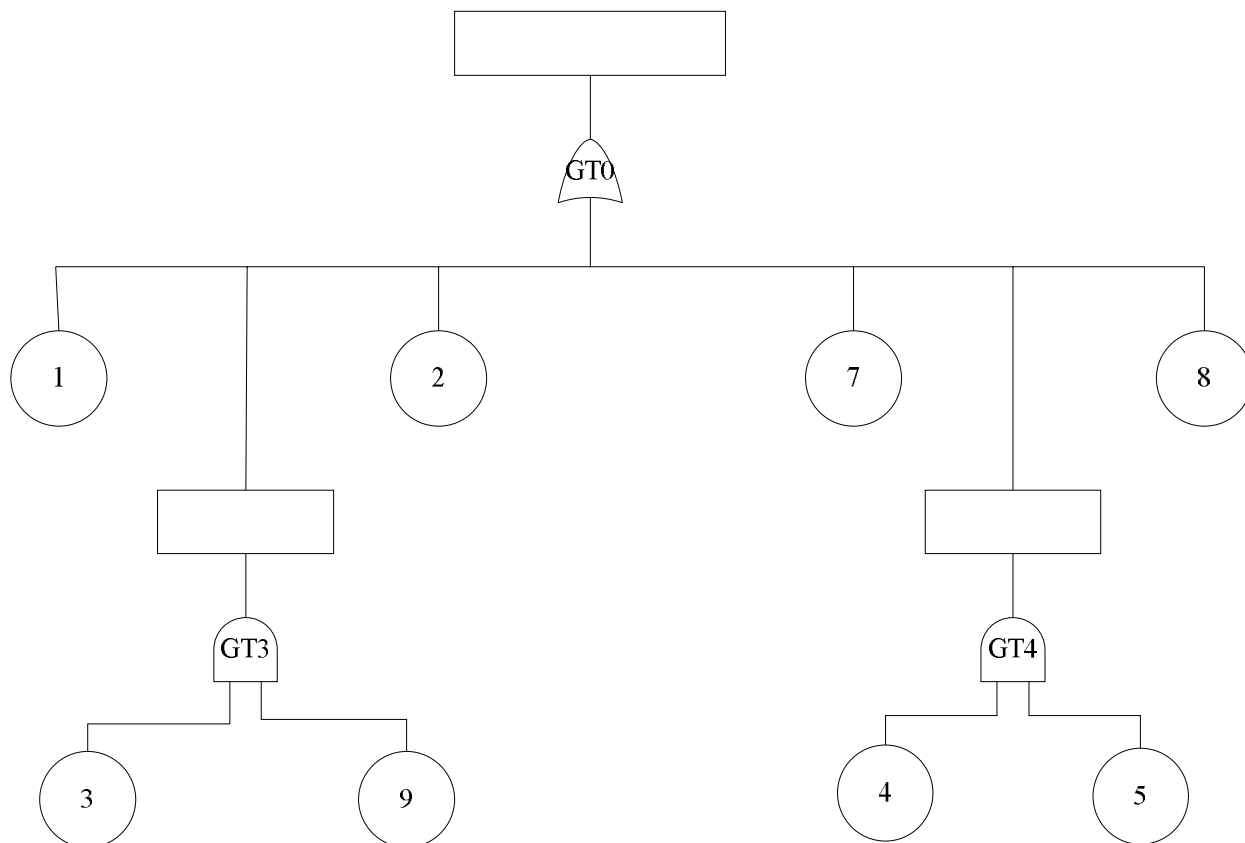
Якщо в матричному списку не має подій, що повторюються, то перерізи, які отримуються цим методом, будуть мінімальними. У протилежному випадку виключаються всі не мінімальні перерізи (тобто що містять інші множини) із остаточного матричного списку.

Приведене дерево несправностей для отриманого вище матричного списку зображено на рис. 4, й воно не містить подій, що повторюються.

### **3. ПОДВІЙНІСТЬ ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

Зазвичай поява завершальної події представляє інтерес з точки зору забезпечення безпеки системи, а її відсутність – з точки зору гарантії надійності системи. Оскільки «поява» та «не поява» завершальної події – дві сторони одного й того ж процесу, за допомогою дерева несправностей легко отримати дерево справних станів. Для цього у вихідному дереві несправностей достатньо замінити усі схеми ТА схемами АБО або навпаки. Крім цього, завершальне, проміжні й елементарні події (відмови) повинні бути замінені відповідними подвійними подіями (сприятливими результатами). Іншими словами, якщо завершальною подією є «відсутність світла у кімнаті», то її потрібно замінити подією «кімната освітлена».

Мінімальні перерізи початкового дерева несправностей будуть мінімальними шляхами подвійного дерева (дерева справних станів). Шлях можна визначити як множину основних подій, відсутність яких сприяє не появі завершальної події. Мінімальний шлях визначається як множина, що не скорочується, яка ще зберігає характеристики шляхів, що їй належать. Для знаходження мінімальних шляхів подвійного дерева може бути застосовано розглянутий у попередньому розділі алгоритм отримання мінімальних перерізів дерева несправностей.



**Рис. 4 – Дерево несправностей у випадку подій, що повторюються**

Лекцію підготував  
к.т.н., доцент,  
доцент каф. УОДСЦЗ

О.О. Пискалова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 12**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**Тема: «Ймовірнісна оцінка дерева несправностей»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути ймовірнісну оцінку дерева несправностей, а також оцінку інтенсивностей відмов за допомогою дерев несправностей.

**Загальні методичні вказівки**

Перевірити наявність слухачів на занятті.

Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ   | 5 хв.  |
| 1. Підхід до ймовірнісної оцінки дерева несправностей             | 35 хв. |
| 2. Оцінка інтенсивностей відмов за допомогою дерева несправностей | 35 хв. |
| Закінчення  | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1. ПІДХІД ДО ЙМОВІРНІСНОЇ ОЦІНКИ ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ

Після отримання мінімальних перерізів або подій, що не повторюються, можна приступати до обчислення імовірності настання завершальної події. Однак, перш ніж розглядати, як це робиться, доцільно торкнутися основних понять теорії імовірності стосовно до логічних схем.

#### Схема АБО

Для пояснення імовірнісного аспекту роботи цієї схеми проаналізуємо схему АБО з двома входами, зображену на рис. 1. Для цієї схеми імовірність появи завершальної події має вигляд

$$P(T) = P(a) + P(b) - P(a \cdot b).$$

Якщо  $a$  та  $b$  – статистично незалежні події й добуток  $P(a)P(b)$  дуже малий, то отриманий вираз можна наближено записати як

$$P(T) \approx P(a) + P(b).$$

У випадку схеми АБО з  $n$  входами маємо

$$P(a+b+c+\dots) \approx P(a) + P(b) + P(c) + \dots$$

Цей наближений вираз надає гарні результати, якщо імовірності появи елементарних подій  $P(a)$ ,  $P(b)$ ,  $P(c)$ ,... дуже малі, й точний результат, якщо події  $a, b, c, \dots$  є несумісними.

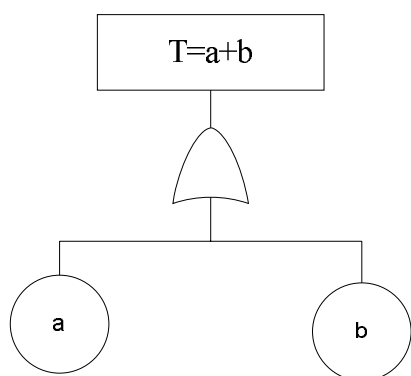


Рис. 1 – Схема АБО з двома входами

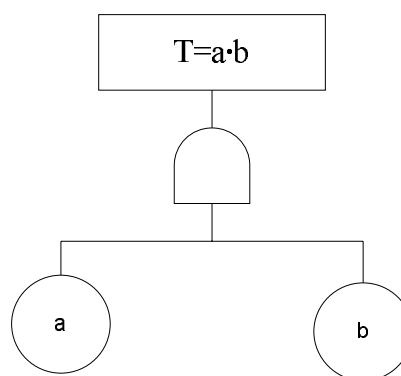


Рис. 2 – Схема ТА з двома входами

### *Схема ТА*

У випадку схеми ТА з двома входами (рис. 2) події  $a$  та  $b$  статистично незалежні і для отримання імовірності появи завершальної події застосовується правило множення ймовірностей:  $P(ab)=P(a) \cdot P(b)$ .

Для схеми ТА з  $n$  входами даний вираз можна записати у загальному вигляді

$$P(a \cdot b \cdot c \cdot \dots) = P(a) \cdot P(b) \cdot P(c) \cdot \dots$$

## **2. ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ВІДМОВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕРЕВА НЕСПРАВНОСТЕЙ**

Розглянемо засіб визначення інтенсивності відмов для завершальної і проміжних подій дерева, зробив попередньо наступні допущення:

- елементи системи (що відповідають елементарним подіям) не відновлюються;
- розподіл моментів появи подій (або моментів виникнення відмов елементів) підпорядковується експоненціальному закону;
- дерево несправностей не має збитковості, тобто не містить подій, що повторюються;
- елементарні події (відмови елементів) статистично незалежні.

Вирази для інтенсивності відмов логічних схем АБО й ТА дерева несправностей виводяться за допомогою відношення

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt},$$

де  $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов у момент часу  $t$ ,  $R(t)$ – імовірність безвідмовної роботи елемента або системи.

### *Схема АБО*

В логічному плані ця схема відповідає системі з послідовним сполученням елементів. Імовірність безвідмовної роботи такої системи можна визначити за допомогою виразу

$$R_S = \prod_{i=1}^n R_i,$$

де  $R_S$ – імовірність безвідмовної роботи системи з послідовним сполученням елементів,  $R_i$ – стала, що характеризує імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента,  $n$  – число елементів.

При експоненціальному розподілі наробітки на відмову цей вираз приймає вигляд

$$R_S(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right),$$

де  $\lambda_i$  – постійна інтенсивність відмов  $i$ -го елемента,  $t$  – час. Тоді для інтенсивності відмов системи з послідовним сполученням елементів маємо

$$\lambda_S(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Із отриманого виразу випливає, що подія на виході схеми АБО являє собою суму подій на її вході.

#### *Схема ТА*

В логічному плані схема ТА відповідає системі з паралельним сполученням елементів. Імовірність безвідмовної роботи такої системи

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i),$$

де  $R_i$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента,  $n$  – число елементів.

У випадку постійної інтенсивності відмов елементів цей вираз приймає вигляд

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}),$$

де  $\lambda_i$  – постійна інтенсивність відмов  $i$ -го елемента,  $t$  – час.

Після відповідної підстановки отримуємо

$$\lambda_p(t) = \left\{ \sum_{j=1}^n \lambda_j (z_j - 1) \right\} \left\{ \prod_{j=1}^n z_j - 1 \right\}^{-1},$$

де  $1/z_j = (1 - e^{-\lambda_j t})$  для  $j = \overline{1, n}$ .

Якщо подія на виході однієї схеми ТА є вихідною подією іншої схеми ТА, то інтенсивності відмов для усіх проміжних й завершальної подій можна визначити через імовірності безвідмовної роботи відповідних елементів. Іншими словами, інтенсивність відмов, що характеризує подію на виході схеми ТА, неможна використовувати для опису виходу іншої схеми ТА.

У випадку послідовного сполучення двох або більшої кількості схем ТА спочатку слід визначити імовірність безвідмовної роботи на рівні виходу

кожної логічної схеми, а потім, використовуючи вираз для  $\lambda_p(t)$ , визначити інтенсивності відмов.

Лекцію підготував

доцент кафедри управління та організації  
діяльності у сфері цивільного захисту,  
к.т.н., доцент

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 13**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**«Основи теорії пожежних ризиків»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Дослідити основні небезпеки, що притаманні сучасному світу.

Розглянути тріаду «небезпека – ризик – безпека» та основні види ризиків.

**Загальні методичні вказівки**

4. Перевірити наявність слухачів на занятті.

5. Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.

6. Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ                                   | 5 хв.  |
| 1. Небезпеки сучасного світу            | 40 хв. |
| 2. Тріада «небезпека – ризик – безпека» | 15 хв. |
| 3. Види ризиків                         | 15 хв. |
| Закінчення                              | 5 хв.  |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

5. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
6. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
7. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
8. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.



# ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

## 1. НЕБЕЗПЕКИ СУЧАСНОГО СВІТУ.

Людство з самого початку своєї історії, а також і в доісторичному періоді свого існування, постійно стикалося з різними природними небезпеками (землетрусами, повенями, ураганами, грозами, лісовими пожежами, агресивними представниками тваринного світу та ін.).

Потім у суспільну практику стали все частіше входити агресивні сутички людських спільнот (племен, пологів, громад, інших соціальних структур і систем), обумовлені необхідністю забезпечення і вирішення тих чи інших суспільних інтересів і завдань. Так виникла військова небезпека.

У міру інтелектуального розвитку людства (оволодіння вогнем, ремеслами, різними виробничими технологіями і процесами, будівельною практикою та ін.) З'явилися нові види небезпек і, насамперед, пожежна небезпека, нерідко обумовлена злим умислом людей або невмілим поводженням з вогнем (а також, наприклад, небезпеки обвалення будівель, отруєння продуктами виробничої діяльності та ін.).

Поява міст, в яких людям зручно було вирішувати безліч соціально-економічних проблем, сприяло поширенню масових захворювань людей, епідемій різних хвороб (віспи, чуми та ін.).

Так тривало багато тисячоліть: пожежі знищували цілі міста, війни та епідемії їх спустошували, природні лиха вносили свою сувору лепту в суспільне життя, історію людства.

Нова і все розширюється група небезпек з'явилася в кінці XVIII - початку XIX століття, коли в світі почалася перша промислова революція. Її подальший розвиток, безпосередньо пов'язане з прискорювати науково-технічним прогресом людства, інтенсивним залученням в соціально-економічні процеси все нових видів речовини, енергії та інформації, одночасно сприяло появі нових видів небезпек (хімічної, радіаційної, інформаційної та ін.).

Поступово багато видів небезпек набували дедалі більших масштабів і форми поширення, охоплюючи весь світ, стаючи в повному розумінні слова глобальними, тобто загальнопланетарними, і загрожуючи існуванню сучасної цивілізації.

Ця проблема є предметом глибоких філософських, природничо-наукових і гуманітарних досліджень, що, природно, не є метою даної книги. Ми можемо тільки констатувати, що сучасний світ виключно складний, різноманітний, динамічний, пронизаний ворогуючими тенденціями, сповнений протиріч.

Різке прискорення розвитку людства поставило цивілізацію в кінці XX - початку XXI століть перед виключно важливими загальнолюдськими проблемами, від рішення яких залежить майбутнє нашої планети. До них відносяться проблеми збереження природного середовища, використання нових джерел енергії, освоєння світового океану, космосу та ін.

Можна сказати, що напередодні третього тисячоліття нашої ери людство вступило в нову еру свого існування, яка характеризується тим, що міць створюваних ним засобів впливу на середовище існування вперше стала сумірною з природними силами нашої планети.

Про це на початку ХХ століття вже попереджав академік В.І. Вернадський, що Людина, її Розум стає загальнопланетарною, геологічною силою, перетворюючою образ Землі.

Наприкінці ХХ століття з цього ж приводу висловлював свою тривогу академік Н.М. Моїсєєв: «Це вселяє нам не тільки гордість, а й побоювання, бо загрожує наслідками, про які зовсім недавно у нас не було і приводу всерйоз замислюватися, але які (нині це абсолютно очевидно), можуть призвести до знищення цивілізації і навіть всього живого на Землі.

Сказане означає, що перед усіма, хто відповідальний за науково-технічний прогрес і - ще більше - за використання його досягнень з практичними цілями, встало об'єктивна вимога: враховувати вразливість природного середовища, не допускати перевищення її «меж міцності», глибше вникати в суть властивих їй складних і взаємопов'язаних явищ, не вступати в протиріччя з природними закономірностями, щоб не викликати незворотних процесів».

Перерахуємо деякі види небезпек, реально загрожують людству на початку ХХІ століття:

- космічні - зіткнення Землі з різними космічними об'єктами (кометами, астероїдами, іншими небесними тілами);
- екологічні - глобальні зміни клімату, опустелювання, деградація ґрунту, виснаження природних та біологічних ресурсів, забруднення навколишнього середовища та ін.;
- природні - всі види стихійних лих;
- техногенні - аварії, вибухи, пожежі, катастрофи і т.д. .;
- біологічні, економічні, соціальні, політичні, військові, інформаційні та ін.

Взагалі кажучи, сукупність всіляких небезпек у світі, їх видів і підвидів, мабуть, можна охарактеризувати (з абстрактною, математичної точки зору) як нескінченне рахункове безліч, то є безліч, що має нескінченно багато елементів, які, тим не менш, можна перенумерувати .

Сукупна дія всіх цих небезпек, число яких множить, а інтенсивність реалізацій збільшується, призвело до системної кризи на нашій планеті, який дійсно може призвести до загибелі сучасної цивілізації.

З усього сказаного вище випливає, що на даному етапі її розвитку проблема забезпечення безпеки кожної людини, будь-якої країни, всього світового співтовариства є найбільш нагальною, найважливішою потребою сучасності, бо мова йде про благополучне вирішенні кризової ситуації, про забезпечення виживання цивілізації і створенні умов для її подальшого та сталого розвитку.

Вирішення цієї складної проблеми потребує об'єднання зусиль всього світового співтовариства, всіх міжнародних організацій, кожної держави і, звичайно, світової науки і техніки.

Як відомо, найчастіше розглядають, аналізують і проектують так звані складні системи наступних видів: соціальні, економічні і технічні. При цьому, у багатьох випадках всі ці характеристики відображають окремі аспекти єдиного соціально-економічного «організму», що використовує в процесі «життєдіяльності» різні інженерно-технічні системи.

Найскладнішою соціально-економічною системою з давніх пір є місто, всі типи міських поселень. Однією з основних і найважливіших тенденцій розвитку сучасної цивілізації є інтенсивний процес урбанізації, тобто швидке зростання міст, їх населення, територій, злиття міст, освіта мегаполісів, агломерацій, освіта великих урбанізованих просторів.

Динаміку цього процесу можна представити таким чином:

- на початку XX століття з 1,65 млрд. Чоловік, що населяли Землю, у містах проживало менше 14% населення планети, тобто близько 230 млн. чоловік. При цьому більшість міст були малими і майже не відрізнялися від великих сільських поселень. У великих містах проживало приблизно 1,5% населення Землі. Найбільшим містом на планеті був Лондон (5 млн. чол.).

- у середині XX століття вже 20% землян проживало в містах, тобто 0,72 млрд. чол. (населення Землі становило 2,5 млрд. осіб). У 1977 р в світі налічувалося близько 2 тис. великих міст (з населенням понад 100 тис. жителів кожен) і більше 150 міст і агломерацій з населенням понад 1 млн. чоловік.

- у 2010 році на планеті налічувалося 6,9 млрд. осіб, з яких більше половини (51%) жило в містах, тобто городян зараз на Землі близько 3,5 млрд. чоловік. Тут наведена загальнопланетарна статистика, але в перенаселеній Європі в містах живуть 73% європейців (як в Росії), а в окремих країнах ця частка перевищує 85% населення. Наприклад, у Німеччині 86% населення живуть у містах.

До сказаного корисно додати, що сумарна площа території всіх міст світу складає тільки 3% земної суші, тобто приблизно 4,5 млн. кв. км. Щорічно ця територія збільшується на 20 тис. кв. км. (на 0,45% сумарної площі міст) і до 2020 р. складе 4% всієї суші.

Цю ситуацію наочно можна представити так: на початку XXI століття половина населення Землі розміщується на площі квадрата зі стороною рівною всього 2,1 тис. км., Де на кожному кв. км. розміщуються в середньому 780 чоловік.

Характерною рисою XX століття стала поява на планеті так званих метрополісів, агломерацій, мегалополісів. Під Метрополісом розуміють надвеликі міста з розвиненими приміськими зонами та містами-супутниками, населення яких перевищує 1 млн. чол. В даний час в світі є більше 250 подібних міст, а приблизно 45 міст налічує 5 млн. жителів.

Однак в останні десятиліття розвиток міст набуло якісно нового характеру. У різних районах Землі виникають гігантські скупчення міст,

тісно пов'язані між собою різноманітними зв'язками і мають єдиний трудовий баланс, забезпечений багатомільйонними згустками населення. Території подібних міських систем охоплюють багато тисяч квадратних кілометрів. Такі урбанізовані простору називають агломераціями. Сукупність агломерацій все частіше стали називати Мегалополіс.

Наприклад, на Атлантичному узбережжі США сформувався колосальний мегаполіс, що займає 150 тис. км<sup>2</sup> з населенням близько 40 млн. чол. і об'єднуючий агломерації Бостона, Нью-Йорка, Філадельфії, Балтімора і Вашингтона. У Японії в результаті злиття агломерацій Токіо, Йокогами, Кіото, Нагої, Осаки і Кобе формується один з найбільших мегаполісів світу з населенням 60 млн. чол., Що становить половину населення країни. Багатомільйонні агломерації вже сформувалися в Німеччині (Рурська), Великобританії (Лондонська і Бірмінгемська), Франції (Паризька), Мексиці (Мехіко), Індії (Делійська), Єгипті (Каїрська) та ін. Швидке зростання гігантських урбанізованих районів дав привід фахівцям припустити, що саме цей вид розселення переважатиме в ХХІ столітті.

В основі процесу урбанізації лежать об'єктивні фактори: доцільність і навіть необхідність концентрації та інтеграції різноманітних форм і видів матеріальної і духовної діяльності, спілкування, посилення зв'язків між різними сферами виробництва, науки і культури, що в свою чергу підвищує інтенсивність і ефективність соціальних та економічних процесів. Найбільш ефективно ці процеси протікають у великих і великих містах.

Таким чином, міста відіграють все більш важливу роль у житті суспільства, будучи однією з найважливіших форм його соціально-економічної та територіальної організації, представляючи собою економічні, наукові, культурні та політичні центри країн і регіонів.

Переваги міського життя пояснюються головним чином високим рівнем її якості. У містах людство порівняно легко (порівняно з жителями сільських поселень) забезпечує задоволення всіх своїх основних потреб як соціального, так і економічного характеру. Цьому сприяє розвинута інфраструктура міст, пов'язана, зокрема, зі спорудженням унікальних будівель, споруд, різних інженерних систем, мереж і т.д.

Забезпечуючи високий рівень якості міського життя, міська влада та фахівці буквально «нашпиговують» міський простір найскладнішими і потенційно небезпечними технічними системами (АЕС, ТЕЦ, НПЗ, хімічні заводи, склади горючих і шкідливих речовин, продуктопроводи, транспортні артерії та ін.). При цьому виникають і збільшуються в розмірах різноманітні міські ризики, що загрожують порушити життєдіяльність міського організму.

Оскільки земля в містах стає все більш дорогою (особливо в центральній її частині), а міську межу не можна безперервно змінювати, видаляючи її від центру міста і збільшуючи його площу, то сучасні міста починають інтенсивно рости «вгору і вниз». Це означає, що в містах з'являються, по-перше, все більш високі будівлі і споруди (висотою більше 0,5 км), по-друге, все більш фундаментальні та різноманітні підземні споруди (нерідко теж багатоповерхові).

Таким чином, сучасні міста являють собою не тільки найскладніші соціально-економічні, але й складні технічні системи, з якими пов'язане безліч різних за своєю природою небезпек.

## **2. ТРІАДА «НЕБЕЗПЕКА – РИЗИК – БЕЗПЕКА».**

Для того щоб забезпечити безпеку якогось об'єкта захисту (будь-якої системи) потрібно вміти протистояти загрожуючим йому небезпекам. Так, при аналізі проблеми безпеки (будь-якого об'єкта) розглядаються два основних поняття - небезпека і безпека. Поняття ризику в певній мірі пов'язує два перших поняття. Так виникає основна тріада понять, що формується в даний час теорії ризику та безпеки: «Небезпека - ризик - безпека».

Небезпека - явище будь-якої природи (фізичної, хімічної, біологічної, економічної, соціальної та ін.), Здатне завдати шкоди особі, суспільству, державі, будь-якого об'єкта захисту.

Будь небезпека носить, як правило, потенційний характер і в реальності проявляється далеко не завжди. Ризик як раз і є мірою можливості реалізації конкретної небезпеки.

Ризик - кількісна характеристика (міра) можливості реалізації конкретної небезпеки та її наслідків, вимірювана, як правило, у відповідних одиницях.

Для кожної небезпеки ризиків може бути досить багато. Кожен з них характеризує окремий аспект небезпеки та її наслідків, наприклад, з одного боку, - частоту її реалізації, з іншого - характер і розміри наслідків реалізації небезпеки. Кожен ризик в залежності від багатьох обставин і чинників може змінювати свої значення, тобто схильний певної динаміці. Тому, виявляючи роль окремих факторів, що впливають на рівень ризику, можна спробувати цілеспрямовано впливати на них, тобто управляти ризиком, з тим, щоб послабити негативний вплив небезпеки.

Управління ризиком - розробка та реалізація комплексу заходів (інженерно-технічного, економічного, соціального та іншого характеру), що дозволяють зменшити значення даного ризику до припустимого (прийняттого) рівня.

Очевидно, що принципово неможливо всі ризики, пов'язані з тим чи іншим об'єктом захисту, звести до нуля, ризик тільки можна спробувати зменшити до такого рівня, з яким суспільство на даному історичному етапі розвитку змушене буде погодитися.

Безпека - стан об'єкта захисту (системи), при якому значення всіх ризиків не перевищують їх допустимих рівнів.

Останнє визначення означає, що на даному етапі розвитку суспільства більшою мірою зниження рівня будь-якої небезпеки, яка загрожує даному об'єкту захисту, домогтися неможливо, то є небезпека в явному вигляді як би відсутній і саме тому систему (об'єкт захисту) за визначенням можна вважати безпечною (поки більшого зменшення небезпеки забезпечити не можна).

Тільки в цьому сенсі можна говорити про безпеку як «стан захищеності» об'єкта захисту, так як абсолютної безпеки не може бути в принципі.

Таким чином, алгоритм забезпечення безпеки будь-якого об'єкта полягає у виявленні та оцінці всіх ризиків, притаманних цьому об'єкту, розробці технологій управління цими ризиками, щоб цілеспрямовано знижувати їх значення до допустимих рівнів.

Так вибудовується логіка формування та підпорядкування основних понять теорії ризику і безпеки, що визначає тріаду «Небезпека - ризик - безпека», де додатковим (допоміжним) поняттям є «управління ризиком».

При цьому поняття небезпека, загроза і виклик по суті є синонімами, відрізняючись один від одного деякими смисловими відтінками. Всі вони характеризуються набором ризиків, зменшуючи значення яких ми приходимо до припустимого рівня безпеки конкретного об'єкта захисту (особистості, суспільства, держави, будь-якої соціальної, економічної, технічної системи).

З кожним об'єктом захисту може бути пов'язано безліч різних небезпек. Кожну небезпека може характеризувати багато різних ризиків, які оцінюють різні боки і параметри цієї небезпеки. Набір ризиків, що відповідають певному виду небезпеки, можна назвати комплексом її ризиків.

### **3. ВИДИ РИЗИКІВ.**

Існуючі ризики різноманітні і можуть бути розділені на безліч категорій, тобто класифіковані за різними ознаками:

*за ступенем впливу* на життєдіяльність людини, життєздатність організації розрізняють такі види ризику:

- малий (заходи захисту приймати не потрібно);
- прийнятний (вживаються заходи контролю та захисту на основі принципів обґрунтування та оптимізації);
- надмірний (діяльність з вказаним рівнем ризику не допускається);

*за об'єктом* розглядаються ризики:

- для життя і здоров'я людей - індивідуальний;
- для суспільства - соціальний;
- для функціонування і розвитку (добробуту, життєздатності) організацій як соціально-економічних систем - підприємницький, економічний;
- для держави - стратегічний;
- для навколишнього природного середовища як умови розвитку людства - екологічний ризик (пов'язаний не з одномоментним збитком, а з довготривалими змінами середовища проживання, що приводять до негативних наслідків для населення і людства в цілому).

*за місцем розташування джерела небезпеки* щодо об'єкта розрізняють ризики:

- зовнішні;
- внутрішні.

Для організації до зовнішніх джерел небезпеки відносяться економічна кон'юнктура, конкуренти, а до внутрішніх - ризики, пов'язані з прийнятими рішеннями, протиріччями в керівництві та ін. Внутрішнім джерелом ризику для життя і здоров'я людини є її організм (хвороби).

**за суб'єктами** (причини або джерела) розрізняють ризики:

- природа (включаючи космос) - природні;
- техносфера - техногенні;
- суспільство - соціальні;
- економіка (бізнес) - підприємницькі, економічні.

**за причинами виникнення** розрізняють ризики, пов'язані з:

- небезпечними явищами;
- можливими реалізаціями (сценаріями) негативних тенденцій розвитку;

– нестабільністю умов діяльності організації, що приводить до відхилення фактичного результату діяльності від очікуваного, до помилкових рішень в ризикових ситуаціях.

**за можливістю страхування** ризики поділяються на групи:

- ті, що підлягають страхуванню, до яких відносяться ризики, які можуть бути передані відповідним страховим організаціям;
- ті, що не підлягають страхуванню, до яких відносяться ті їх види, по яких відсутня пропозиція відповідних страхових продуктів на страховому ринку.

Можлива класифікація ризиків і за іншими ознаками: мети (мотивований і невмотивований); результату (виправданий і невиправданий); відповідності реальності (дійсний і уявний). Розглядають також ризики настання окремих негативних подій (наприклад, ризик смерті, ризик аварії, ризик банкрутства), які є заходом можливості настання цих подій.

Розрізняють також якісні та кількісні ризики. При цьому, найчастіше мають справу з ризиками, що піддаються кількісним оцінкам. Наприклад, ризик втрати людиною доброго імені, хорошої репутації внаслідок якихось його поганих вчинків (реалізації неправильної поведінки) кількісно виміряти не можна. У той же час ризик політичний, пов'язаний з певними напрямками в поточній або стратегічній політиці держави, носить перш за все якісний характер, так як невдалі політичні акції, наприклад, на міжнародному рівні можуть призвести, насамперед, до втрати міжнародного авторитету, престижу, іміджу держави, але можуть спричинити за собою і економічні санкції з боку міжнародного співтовариства, і навіть військові дії. Тут уже якісний ризик переходить в кількісний.

Те ж саме можна сказати про морально-етичному ризик, пов'язаний з поведінкою окремого індивідуума, де спочатку може відбутися втрата репутації, що супроводжується бойкотом, громадської ізоляцією та ін.

Соціальні ризики можуть бути пов'язані з втратою життя, погіршенням здоров'я, втратою майна індивідуума чи соціуму і носять, в цілому, кількісний характер.

Економічні ризики тягнуть за собою, головним чином, матеріальні втрати і, отже, носять кількісний характер (хоча і можуть супроводжуватися втратою ділової репутації фірми і Іншими якісними втратами).

Різні області діяльності можуть формувати свій понятійний апарат та класифікацію ризиків. Наприклад, у страхуванні під ризиком часто розуміється вид небезпеки, реалізація якої призводить до страхового випадку: пожежа, повінь, ДТП, протиправні дії, аварія, нещасний випадок тощо. Відповідно, класифікація ризиків може здійснюватися відповідно до видів страхування - майнові, фінансові, відповідальності та ін.

Для промислового виробництва найбільш серйозним і часто зустрічається є ризик виникнення відмов машин і устаткування, а в найбільш важких проявах - виникнення аварійної ситуації. Це може статися на промислових об'єктах в результаті подій різного характеру: природного, техногенного і т.д.

Інвестиційні ризики пов'язані з можливістю недоодержання або втрати прибутку в ході реалізації інвестиційних проектів. Об'єктом ризику в даному випадку виступають майнові інтереси особи, яка здійснює вкладення своїх коштів, тобто інвестора.

Технічні ризики супроводжують будівництва нових об'єктів та їх подальшої експлуатації. Серед них виділяють будівельно-монтажні та експлуатаційні.

Професійні ризики пов'язані з виконанням особами своїх професійних обов'язків.

Лекцію підготував:

доцент кафедри управління та організації  
діяльності у сфері цивільного захисту,  
к.т.н., доцент

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри « » серпня 20 р.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 14**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**«Концепція управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій  
техногенного та природного характеру»**

м. Харків

**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути загальну інформацію стосовно Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру

**Загальні методичні вказівки**

1. Перевірити наявність слухачів на занятті.
2. Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
3. Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ   | 5 хв.  |
| 1. Загальна інформація стосовно Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру | 25 хв. |
| 2. Мета і етапи реалізації Концепції  | 45 хв. |
| Закінчення  | 5 хв.  |

**НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анали за иерархий / Т. Саати // Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЇ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ПРОВЕДЕННЯ

### 1. Загальна інформація стосовно Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру

Концепція управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. №37-р.

Підвищення ступеня захищеності населення і територій України від надзвичайних ситуацій, зменшення ризиків виникнення та мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру (далі - надзвичайні ситуації) 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.

## **2. 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.

### *Шляхи та способи розв'язання проблеми.*

Проблема може бути розв'язана шляхом:

забезпечення єдності принципів формування і проведення державної політики у сфері техногенної та природної безпеки;

забезпечення нормування рівнів ризиків;

розроблення механізмів державного регулювання у сфері управління ризиками.

Управління ризиками повинне здійснюватися на таких принципах:

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;

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;

мінімізації, згідно з яким ризик необхідно зменшувати до рівня досягнення розумного компромісу між безпекою та розміром витрат на її забезпечення;

повноти, відповідно до якого ризики 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;

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

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;

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;

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.

Нормування рівнів ризиків забезпечить:

єдність методологічних підходів до оцінки ризиків, які існують на всій території України, та тих джерел небезпеки поза її межами, що можуть мати транскордонний вплив;

стандартизацію методів нормування;

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

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

галузеву і територіальну диференціацію нормативів ризиків;

врахування всіх факторів, що впливають на величину ризиків, пов'язаних із розміщенням, будівництвом та експлуатацією потенційно небезпечних об'єктів, створенням нової техніки, технологій і матеріалів;

періодичне коригування нормативів ризиків.

Умовою реалізації нормування рівнів ризиків у господарській діяльності є визначення і забезпечення досягнення необхідних показників надійності тих технічних елементів та технологій, які можуть призводити до

виникнення аварій, а також показників надійності систем протиаварійного захисту та захисних споруд.

Основою нормативної бази ризиків є два основних нормативних рівні ризиків: мінімальний і гранично допустимий.

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  $1 \cdot 10^{-5}$ .

Ризик, значення якого нижче або дорівнює мініальному, вважається абсолютно прийнятним.

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

Основними механізмами державного регулювання у сфері управління ризиками є державна стандартизація, сертифікація, державна експертиза, державний нагляд і контроль, ліцензування, економічне регулювання, декларування безпеки небезпечних об'єктів і страхування.

Особливості і ступінь впливу державного регулювання на конкретні об'єкти управління повинні визначатися з урахуванням значень їх реальних ризиків, а також здійснених заходів щодо мінімізації ризиків на всіх стадіях життєвого циклу небезпечних об'єктів (проектування, розміщення, будівництво, монтаж, пуск в експлуатацію, функціонування, ліквідація).

Основою державної системи управління у сфері техногенної та природної безпеки і відповідно управління ризиками повинні стати економічні механізми, їх метою є утворення економічного фундаменту функціонування цієї системи на всіх рівнях управління безпекою, починаючи від об'єктового і закінчуючи загальнодержавним. Комплекс економічних механізмів регулювання повинен забезпечити оптимальний баланс економічних витрат і рівня техногенної та природної безпеки в умовах обмежених ресурсів держави.

Пріоритетним напрямом є міжнародне співробітництво у сфері управління ризиками для забезпечення підвищення ефективності запобігання виникненню масштабних надзвичайних ситуацій та новим видам загроз. Об'єднання роботи систем цивільного захисту України та інших держав з метою вирішення завдань з управління ризиками викликано:

глобальним характером окремих надзвичайних ситуацій;

можливістю поширення наслідків певних видів надзвичайних ситуацій на території інших держав;

міжнародними зобов'язаннями України щодо запобігання виникненню масштабних надзвичайних ситуацій, а також щодо інформування, нейтралізації і надання допомоги у разі їх виникнення;

необхідністю інтеграції України в європейську мережу моніторингу надзвичайних ситуацій;

наявністю вигод від міжнародного співробітництва у сфері управління ризиками.

*Очікувані результати.*

Реалізація Концепції дасть змогу:

запровадити нові дієві форми аналізу, оцінки, експертизи і контролю безпеки потенційно небезпечних об'єктів на всіх етапах життєвого циклу;

запровадити нормування рівнів ризиків та застосування відповідних норм під час удосконалення механізмів державного регулювання у сфері техногенної та природної безпеки;

створити сприятливі умови для запровадження системи аналізу та управління ризиками як основи регулювання безпеки населення і територій України;

прискорити формування єдиного підходу з управління безпекою в усіх сферах і галузях виробництва;

забезпечити прозорість, відкритість і ефективність діяльності органів державної влади у сфері управління ризиками.

Лекцію підготував

доцент кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту,

к.т.н., доцент

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри « » серпня 20 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

**Лекція № 15**

з навчальної дисципліни

**«Прогнозування та оцінка ризиків на хімічно небезпечному  
виробництві»**

**«Аналіз рівнів ризиків виникнення аварій на хімічно небезпечних  
об'єктах»**

м. Харків



**Місце проведення:** аудиторія за розкладом занять.

**Час проведення:** 80 хвилин.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний проектор.

**Мета лекції:**

Розглянути загальну інформацію стосовно Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру

**Загальні методичні вказівки**

1. Перевірити наявність слухачів на занятті.
2. Записати на дошці тему лекції та навчальні питання, викласти навчальний матеріал.
3. Вибірково перевірити якість ведення конспекту.

**План лекції:**

|   |        |
|---|--------|
| Вступ   | 5 хв.  |
| 1. Загальна інформація стосовно Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру | 25 хв. |
| 2. Мета і етапи реалізації Концепції  | 45 хв. |
| Закінчення  | 5 хв.  |

### **НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
2. Рабочая книга по прогнозированию / [Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 426 с.
3. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. – М.: Дело, 1998. – 816 с.
4. Вентцель Е.С. Вероятностное прогнозирование деятельности человека. – М.: Наука, 1977. – 267 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анали за иерархий / Т. Саати // Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

Сучасний розвиток економіки України взагалі, та хімічної промисловості, зокрема, призвів до підвищення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Висока зношеність основних виробничих фондів, скорочення коштів на протиаварійні заходи та інші фактори суттєво знизили рівень безпеки населення та зменшили час безаварійного функціонування виробництв.

На практиці необхідне впровадження системи заходів, спрямованих на зниження ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій (НС), підвищення ступеню захищеності працівників хімічно небезпечних об'єктів та населення великих промислових центрів від наслідків надзвичайних ситуацій, мінімізацію негативної дії факторів небезпек та контроль за дотриманням відповідних норм, правил передбачених чинним законодавством та іншими нормативними актами.

Заходи щодо зменшення ризику виникнення аварій на хімічно небезпечних об'єктах поділяються на однотипні блоки:

а) комплекс заходів організаційно-виробничого спрямування стосується загальних питань організації виробництва для забезпечення високого рівня безпеки;

б) комплекс заходів інженерно-технічного спрямування включає питання інженерно-технічного забезпечення необхідного рівня безпеки;

в) комплекс заходів медико-організаційного спрямування передбачає забезпечення негайної і довготривалої медичної допомоги потерпілим в результаті можливої надзвичайної ситуації. Сюди відносяться:

- визначення основних типів уражень працівників та населення з метою забезпечення необхідного рівня кваліфікації медичного персоналу;

- створення необхідних запасів медичних препаратів і відповідної медичної техніки, а в деяких випадках засобів індивідуального захисту;

- створення мобілізаційних осередків медичних бригад постійної готовності першої черги Державної служби медицини катастроф та опрацювання навичок роботи в екстремальних умовах;

- використання медичних технологій лікувально-евакуаційного забезпечення потерпілих працівників хімічно небезпечного об'єкту при надзвичайній ситуації;

- визначення основних і тимчасових місць подальшого лікування потерпілих та евакуйованих.

г) комплекс заходів інформаційного характеру розглядає питання максимально швидкого отримання та передачі об'єктивної інформації про розвиток надзвичайної ситуації та впливу її наслідків на оточуюче середовище передбачає:

- створення надійних систем екстреного оповіщення та постійного інформування працівників підприємств та населення про стан небезпечного об'єкту та розвитку можливих негативних подій на ньому;

- створення надійних дублюючих систем різних видів зв'язку всередині і ззовні хімічно небезпечних об'єктів (ХНО);

- забезпечення потреб працюючих ХНО і населення в об'єктивній інформації про можливі надзвичайні ситуації;

- розповсюдження планів та сценаріїв поведінки заходів на хімічно небезпечному об'єкті та проведення єдиним комплексом. Одиначність проведення заходів і їх «випадковість» повністю виключаються.

Універсальність розроблених заходів розуміється у можливості їх використання при виникненні різноманітних надзвичайних ситуацій техногенного характеру на хімічно небезпечних об'єктах. Специфічність полягає в певних структурних особливостях комплексів заходів в залежності від конкретних умов впровадження.

Відповідність вказаним вимогам є головною умовою ефективності розроблених заходів в процесі зниження ймовірності виникнення НС на та мінімізація медико-санітарних втрат серед працюючих.

Одним з найбільш важливих завдань попередження НС, які повинні забезпечити безпечне мешкання населення, є створення і підтримка мережі спостереження і лабораторного контролю (МСЛК). До 1994 року загальне керівництво МСЛК здійснювалось на основі наказу Начальника Цивільної оборони СРСР № 012 від 1987 року.

На даний час моніторинг довкілля у місцях проживання і відпочинку населення здійснюють наступні міністерства та комітети: Мінекобезпеки, ДСНС, Мінагропром, Держкомлісгосп, Держкомгідромет, Держводгосп, Держкомгеологія, Держкомзем, Держбуд, МОЗ - (у місцях проживання і відпочинку населення) – атмосферного повітря (вміст шкідливих хімічних речовин); поверхневих вод суші і питної води (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення); морських вод (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення тощо); фізичних факторів (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація тощо).

Суб'єкти системи моніторингу забезпечують вдосконалення підпорядкованих їм мереж спостережень за станом довкілля, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів і систем контролю. Цьому будуть сприяти створення і використання банків даних для їх багатоцільового, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднанні складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи.

Мінекобезпеки разом з ДСНС за погодженням з іншими суб'єктами системи моніторингу встановлює спеціальні регламенти спостереження за екологічними об'єктами, критерії визначення і втручання у разі виникнення або загрози виникнення екологічних, техногенних та інших НС.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни повинні негайно інформувати Мінекобезпеки, ДСНС та їх органи на місцях про виникнення або загрозу виникнення НС екологічного, техногенного або іншого походження.

Попередження про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ, які можуть викликати НС техногенного походження (аварії

на потенційно небезпечних та хімічно небезпечних об'єктах), оцінення їх розвитку і можливих наслідків покладається на:

- Держкомгідромет - метеорологічні, гідрологічні та геліофізичні явища на суші і на морі;
- Держкомгеології - екзогенні та ендегенні геологічні процеси;
- Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації, громадяни, які володіють об'єктивною інформацією про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ, повинні негайно надавати її органам ДСНС і Мінекобезпеки.

Лекцію підготував  
доцент кафедри управління та організації  
діяльності у сфері цивільного захисту,  
к.т.н., доцент

О.О. Писклакова

Обговорена та схвалена на засіданні кафедри « » серпня 20 р.