Лекція «Ризик як оцінка небезпеки»

Зміст

1. Ризик та його характеристики 1
2. Ризик-орієнтований підхід і класифікація ризиків 3
3. Кількісний аналіз і моделювання небезпек 4
4. Врахування людського чиннику при моделюванні небезпек 7
5. Кількісне оцінювання ризику небезпек 10

1. Ризик та його характеристики

1. Важливою характеристикою небезпеки є шкода — якісна або кількісна оцінка збитків, заподіяних небезпекою.

2. Кожний окремий елемент ***шкоди*** має своє кількісне вираження: чисельність загиблих, кількість поранених чи хворих, площа ураженої території, вартість пошкоджених транспортних засобів тощо. Універсальною одиницею виміру шкоди є збитки у грошовому еквіваленті.

3. Небезпека сама по собі вказує лише на потенційну можливість спричинення шкоди. Для оцінки її ***імовірності*** та ***тяжкості*** прояву застосовують поняття ризику.

4. Згідно з ДСТУ 2293-99 «ризик - це ймовірність заподіяння шкоди з урахуванням її тяжкості». Чисельно ризик визначається за формулою

$$R = P \cdot A ,$$

де ***P*** - ймовірність виникнення небезпеки;

A - очікуваний розмір шкоди (збитку), що,може завдати реалізована небезпека.

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

5. Ризик ***смертельної*** небезпеки (коли шкода є найтяжчою - смерть людини) розраховується як частота за формулою $R = \frac{n}{N}$ —, де ***n*** — кількість подій із смертельними наслідками; ***N*** — максимально можлива кількість цих подій (кількості подій ***n*** і ***N*** обов'язково визначаються за однаковий інтервал часу, найчастіше — за один рік).

6. При розрахунку загального ризику величина ***N.*** у формулі $R = \frac{n}{N}$ є максимальною кількістю ***всіх без винятку*** подій; при розрахунку групового ризику величина *N* — це максимально можлива кількість подій ***у певній групі*** населення (виокремлена із загальної кількості людей за певною ознакою, наприклад, за віком, професією, місцем проживання тощо).

7. Як правило, ризик II подається у вигляді числа, записаного у стандартному вигляді

$$R=a\cdot 10^{n}$$

де ***1 < a < 10,*** а ***n*** — будь-яке ціле число (від'ємне). При цьому пам'ятають, що $10^0 = 1$.

ПРИКЛАД. За даними статистичної звітності у місті протягом року від нещасних випадків, отруєнь і травм у побуті загинуло 434 особи, серед яких 11 дітей віком від 0 до 14 років. Знаючи, що загальна кількість жителів міста 310 тисяч, у тому числі дітей до *14* років – 15 тисяч, визначимо загальний і груповий ризик загибелі людини:

$R_{заг} = \frac{434}{310\cdot 10^3} = 1{,}40 \cdot 10^{-3}$ смертей/рік

$R_{гр}^{діти} = \frac{11}{15\cdot 10^3} = 0{,}73 \cdot 10^{-3}$ смертей/рік

$R_{гр}^{дорос} = \frac{434-11}{(310-15)\cdot 10^3} = 1{,}43 \cdot 10^{-3}$ смертей/рік

Отже, ризик.загибелі дорослого вдвічі вищий, ніж дитини.

8. В охороні праці замість **ризику R** прийнято використовувати **коефіцієнт $К_ч$ —** частоту травматизму. Ця величина дорівнює кількості травмованих (або загиблих) на

1000 працюючих. За аналогією, можна сказати, що в Полтаві коефіцієнт частоти побутового травматизму становить для дітей - 0,73, а для дорослих - 1,43.

9. Метод, що грунтується на розрахунку ризику за статистичними даними прояву небезпек, називається **інженерним методом.**

10. **Економічний аспект ризику** полягає в тому, що він визначає кількісну міру (ймовірність) нанесення шкоди (збитку) внаслідок прояву певних небезпек.

11. Чим більша ймовірність прояву небезпеки, тим менші збитки вона має спричиняти (загальний принцип організації захисту від **ризику зазнати збитків).**

12. Крім інженерного методу, для розрахунку ризику застосовують також **модельний, експертний, соціологічний** методи. їх бажано використовувати комплексно, одночасно.

13. За ступенем допустимості ризик буває: **а)** знехтуваним, **б)** прийнятним, **в)** гранично допустимим, **г)** надмірним.

14. При **знехтуваному ризику** частота, з якою проявляє себе небезпека, є настільки малою, що не перевищує природний (фоновий) рівень.

15. При **прийнятному ризику** частота, з якою проявляє себе небезпека, вважається суспільством прийнятною (при цьому беруться до уваги досягнуті рівні життя, економічного та соціально-політичного розвитку, а також стан науки і техніки).

16. При **гранично допустимому** ризику частота, з якою проявляє себе небезпека, вважається суспільством найвищою з тих, що можна дозволити з урахуванням досягнутих рівнів життя, економічного та соціально-політичного розвитку, а також стану науки і техніки.

17. При **надмірному ризику** частота, з якою проявляє себе небезпека, вважається суспільством занадто високою, щоб її дозволити, виходячи з досягнутих рівнів життя, економічного та соціально-політичного розвитку, а також стану науки і техніки.

18. Суть **концепції прийнятного ризику** полягає **в** тому, що для досягнення бажаного, прийнятного для суспільства ризику необхідно знайти баланс і підтримувати відповідне співвідношення між витратами суспільства (як правило, обмеженими), здійсненими у природну, техногенну й соціальну сфери.

19. **Оцінюючи ризик небезпеки,** одночасно враховують як серйозність імовірних наслідків прояву небезпек, так і ймовірність того, що такі прояви матимуть місце.

20. **Серйозність імовірних наслідків** прояву небезпек класифікують, поділяючи їх на 4 категорії (категорія I — катастрофічні небезпеки; категорія II — критичні небезпеки; категорія III — граничні небезпеки; категорія IV — незначні небезпеки).

21. Якщо ймовірним наслідком небезпеки є смерть людини або знищення систем життєзабезпечення, таку небезпеку відносять до **І категорії серйозності.**

22. Якщо ймовірним наслідком небезпеки є серйозні травми, стійкі захворювання людей або суттєві пошкодження систем життєзабезпечення, таку небезпеку відносять до **П категорії серйозності.**

23. Якщо ймовірним наслідком небезпеки є незначні травми, нетривалі захворювання людей або невеликі пошкодження систем життєзабезпечення, така небезпека належить до **III категорії серйозності.**

24. Якщо ймовірним наслідком небезпеки є несуттєві травми людини і малопомітні пошкодження систем життєзабезпечення, таку небезпеку відносять до **IV категорії серйозності.**

25. Найбільшої уваги потребують небезпеки, віднесені до I категорії серйозності й означені як **катастрофічні небезпеки.**

26. Важливим критерієм класифікації небезпек є **ймовірність** (частота) їх прояву.

27. Небезпека, спричинена подією, що майже обов'язково (з великою ймовірністю) відбудеться, має бути класифікована за **рівнем А** (частота її прояву є **великою).**

28. Небезпека, спричинена подією, що може відбутися декілька разів протягом життєвого циклу, класифікується за **рівнем В** і означена як **небезпека можлива.**

29. Небезпека, спричинена подією, що може відбутися один-два рази протягом життєвого циклу, має бути класифікована за **рівнем** С і означена як **небезпека випадкова.**

30. Небезпеку, спричинену подією, що скоріш за все не відбудеться протягом життєвого циклу (ймовірність її прояву є близькою до нуля), класифікують за **рівнем D** і позначають як **небезпеку віддалену.**

31. Небезпека, спричинена подією, що майже ніколи не відбудеться (ймовірність її прояву практично дорівнює нулю), має бути класифікована за **рівнем** Е і позначена як **небезпека неймовірна.**

32. Установлено **буквено-цифрову систему** оцінювання ризику подій усіх чотирьох категорій серйозності з урахуванням імовірності настання цих подій. Ризики 1А, 1В, 1С, 2А, 2В, 3А - вважаються **надмірними;** ID, 2С, 2D, 3В, 3С - **гранично допустимими;** 1Е, 2Е, 3Е, 3D, 4А, 4В - **прийнятними;** 4С, 4D, 4Е - **знехтуваними.**

Таблиця 1

Матриця оцінки ризику

Очікувана частота небезпеки	*Категорія (серйозність) небезпеки*			
	I Катастрофічна	*II Критична*	*III Гранична*	*IV Незначна*
Часта (А)				*4А*
Можлива (В)			*3В*	*4В*
Випадкова (С)		*2С*	*3С*	*4С*
Віддалена (D)	*1D*	*2D*	*3D*	*4D*
Неймовірна (Е)	*1Е*	*2Е*	*3Е*	*4Е*

2. Ризик-орієнтований підхід і класифікація ризиків

1. **Ризик-орієнтований підхід** (РОП) у галузі безпеки ґрунтується на положенні, що будь-які небезпеки (у виробничій сфері, у повсякденному житті й побуті), незважаючи на їх різноманіття, мають *однакову природу виникнення і однакову логіку розвитку подій.*

2. Основними **завданнями РОП** є створення наукових основ забезпечення надійності складних технічних систем для безпеки людей і довкілля, розроблення методів оцінювання ступеня небезпеки промислових об'єктів та наукових засад концепції прийнятного ризику.

3. **Зниження ризику** наразитися на небезпеку потребує певних витрат і пов'язане з інвестуванням природної, техногенної та соціальної сфер.

4. Залежність сумарного (технічний плюс соціально-економічний) ризику від загальних витрат суспільства на безпеку описується кривою, яка має мінімум у разі досягнення **оптимального співвідношення між інвестиціями** у природну, технічну й соціальну сфери.

5. **Зона прийнятного ризику** знаходиться в межах мінімуму залежності сумарного ризику наразитися на небезпеку від загальних витрат суспільства, спрямованих на безпеку.

6. **Управління ризиком** полягає у пошуку компромісу між витратами на зменшення імовірності виникнення небезпечної події або збитку від неї і тією вигодою, яку приносить використання небезпечних технологій, матеріалів, продуктів тощо.

7. **Очікуване значення результату** небезпечної (ризикованої) діяльності є середньовиваженим усіх можливих результатів і розраховується за формулою

$$E = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{P_i} \cdot \boldsymbol{X_i}$$

де $P, X,$ - відповідно ймовірність і значення і-го результату; n – кількість можливих результатів.

ПРИКЛАД 1. Підприємець, використовуючи застарілі технології й обладнання, випускає продукцію і одержує щорічний прибуток *750 тис. грн.* Надійність роботи обладнання (імовірність безаварійної роботи) *0.89.* Оцініть доцільність подальшого випуску продукції без модернізації обладнання, якщо збитки при можливій аварії становитимуть 2 ***млн. грн.*** Визначте критичну величину надійності обладнання, при якій ще доцільно його використовувати.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1.Введемо позначення: надійність $P_1 = 0,89$; прибуток $X_1 = 750000$ грн.; збитки $X_2 = -2000000$ грн.

2. Визначимо імовірність відмови (поломки) застарілого обладнання, а відповідно, й аварії, яка при цьому виникне: $P_2 = 1 - 0,89 = 0,11$.

3. Очікуване значення результату використання застарілих технологій і обладнання

$E = 0,89 \cdot 750000 + 0,11 \cdot (-2000000) = +447500$ грн. Отже, надійність роботи обладнання поки що достатня для одержання гарантованого прибутку.

4. Визначимо критичну надійність обладнання ($P_{кр}$), при якому очікувані прибутки не покриватимуть збитків від аварії ($E = 0$):

$$P_{кр} \cdot 750000 + (1-P_{кр}) \cdot (-2000000) = 0;$$
$$750000P_{кр} = 2000000(1-P_{кр});$$
$$P_{кр} = 2,67(1-P_{кр});$$
$$P_{кр} = 0,73.$$

ВИСНОВОК. Отже, критичний ступінь зношеності обладнання при відомому прибутку і прогнозованих збитках становить 0,73.

8. За сприйняттям людиною ризики поділяють на добровільний та примусовий. Ризик примусовий сприймається, як правило, негативно, і людина вимагає, щоб він був якомога меншим і контрольованим. Проте відомо, що люди схильні приймати рішення з добровільним ризиком у сотні й тисячі разів ризикованіші порівняно з діями, що пов'язані з ризиком примусовим.

9. За походженням ризики поділяють на природні, техногенні та соціально-економічні.

10. У виробничій сфері ризики поділяють на внутрішні (пов'язані із функціонуванням підприємства), зовнішні (пов'язані із зовнішнім середовищем) і такі, що спричинені людським чинником (помилки персоналу).

11. За видом збитку ризики поділяють на екологічні, економічні та соціальні.

12. За обсягом ризики бувають глобальні, регіональні й локальні.

13. За часом впливу ризики поділяють на довготривалі, середньої тривалості та короткочасні.

ПРИКЛАД 2. Студент оцінює доцільність економії на квитках при поїздках у громадському транспорті. Квиток в автобусі коштує 0,5 гри., а штраф за безквитковий проїзд – 10 грн. Імовірність перевірки квитка контролером становить 0,1 (контролер заходить у кожен десятий автобус).

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Очікувана «економія» від поїздок «зайцем»

$$E = (1 - 0,1) \cdot 0,5 - 0,1 \cdot 10 = -0,55 \text{ грн.},$$

отже, збитки в даних умовах скоріш за все перевищать прибуток.

3. Кількісний аналіз і моделювання небезпек

1. **Кількісний аналіз небезпек** завжди починають із попереднього дослідження, основною метою якого є ідентифікація джерела небезпеки.

2. Виявлення джерел небезпеки, дослідження розвитку небезпеки та її аналіз є обов'язковими складовими методики, що називається **попереднім аналізом небезпек (ПАН).**

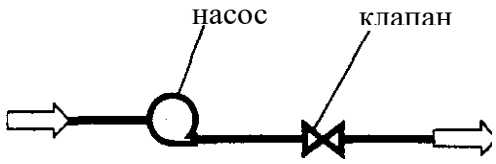
3. **Проведення ПАН** у практичних умовах спрощується і формалізується за рахунок використання заздалегідь підготовлених опитувальних листів, спеціальних анкет, таблиць, матриць попереднього аналізу тощо.

4. До найефективніших і загальноприйнятих методів кількісного аналізу небезпек відносять побудову моделей у вигляді **дерева подій (ДП)** та **дерева відмов (ДВ).**

5. При побудові **ДП** і **ДВ** прийнято застосовувати **спеціальні символи,** які полегшують сприйняття аналітиком виконаних графічних побудов.

6. **Дерево подій (ДП)** являє собою подані у логічній послідовності найсуттєвіші реакції фізичної системи (технічного пристрою) на ініціюючі (вихідні) події.

ПРИКЛАД 1. Дана система послідовно з'єднаних елементів, котра містить насос і клапан, імовірність безвідмовної роботи яких відповідно 0,98 і 0,95.



Визначити ймовірність відмови системи в цілому.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Будуємо дерево подій (ДП) для цієї системи. **Загальне правило** побудови ДП: дерево будується зліва направо, при цьому верхня гілка ДП відповідає бажаному варіанту розвитку подій, нижня гілка - небажаному. В процесі побудови ДП керуємося логікою можливого розвитку подій: якщо насос не працює - система відмовляє незалежно від стану клапана. Якщо насос працює, за допомогою другої вузлової точки аналізуємо варіанти роботи клапана.

2. Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи системи як *добуток* імовірностей двох подій (події послідовні): $P_{б/в} = 0,98 \cdot 0,95 = 0,931$.

3. Визначаємо ймовірність відмови системи як *суму* складових подій, котрі до цього призводять (події паралельні): $P_в = 0,98 \cdot 0,05 + 0,02 = 0,069$.

4. Виконуємо перевірку: $\Sigma P = 0,931 + 0,069 = 1$.

Таким чином, сумарна ймовірність двох станів системи дорівнює одиниці. Так і має бути, оскільки інших варіантів не існує: система або працює, або ж відмовила.

ЗАДАЧА. За допомогою побудови дерева подій визначити сумарний індивідуальний ризик загибелі людини на рік від чотирьох факторів: авіакатастрофи, вживання алкоголю, автокатастрофи і паління, якщо на 1 млн. населення 1 смертельний випадок трапляється:

- в результаті авіакатастрофи -1 раз на 50 років;
- від вживання алкоголю - 1 раз на 4-5 днів;
- від автокатастрофи - 1 раз на 2-3 дні;
- від паління - кожні 2-3 години.

Прийняти, що ці події незалежні одна від одної.

7. **Аналіз ДП** забезпечує ідентифікацію послідовності подій, що ведуть до успіху, і водночас виявляє альтернативну послідовність подій, які призводять до відмови технічного пристрою та збоїв у технічних системах.

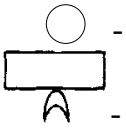
8. **Недоліки моделі** ДП проявляються тоді, коли є наявними паралельні послідовності подій—аналіз ДІЇ виявляється недостатньо ефективним при детальному вивченні складних багатоелементних систем.

9. **Дерево відмов** СДВ)— це подані у логічній послідовності можливі відмови, збої фізичної системи (технічного пристрою), які є причинами небажаної головної події.

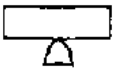
10. **Головну небажану подію** прийнято виносити на вершину дерева відмов. Тоді, рухаючись від кореня до вершини ДВ, можна виявити **логічну комбінацію подій,** котра спричиняє головну небажану подію, розташовану на верхівці дерева.

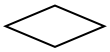
ПРИКЛАД 2. Розв'язати попередню задачу (про насос і клапан) за допомогою побудови дерева відмов (ДВ).

РОЗВ'ЯЗАННЯ. На відміну від дерева подій (ДП) аналіз відмов ведеться за схемою справа наліво. Вводимо умовні позначення:


- базові події (вони повинні мати певну ймовірність);

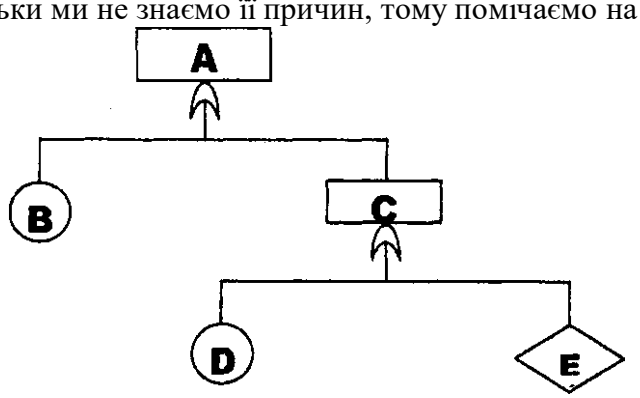
- логічний елемент, що поєднується зі значком «або» (альтернатива);


- логічний елемент, що поєднується зі значком «1» (одночасність);


- нерозвинена подія.

Головну небажану подію виносимо на вершину дерева і назвемо її А - «відсутність води на виході з клапана К». Така подія можлива у двох випадках: В - «відмова клапана К при наявності тиску перед клапаном»; С - «відсутність тиску перед клапаном К». Подія В - базисна, їй відповідає ймовірність 0,05-0,98. Подію С позначаємо як логічний елемент, котрий потребує подальшого аналізу.

Подія С може статися у двох випадках: Б - «відмова насоса» (базова подія, якій відповідає імовірність 0,02) і Е - «відсутній тиск води перед насосом». Остання подія нерозвинена, оскільки ми не знаємо її причин, тому помічаємо на схемі ромбом.



Імовірність головної небажаної події А, котра свідчить про відмову системи в цілому, визначається сумою ймовірностей двох базових подій – В і D:

$$P_{відм.} = 0,02+0,05\bullet 0,98 = 0,069.$$

11. ДВ дозволяє виявити всі можливі **комбінації відмов** окремих елементів складної системи, наслідком яких є головна небажана подія.

12. **Недоліком моделі ДВ** є занадто великі **й** громіздкі побудови, аналіз яких потребує значних ресурсів і багато часу.

13. У випадку складних або багатоелементних систем якісний аналіз небезпек вимагає одночасної побудови як моделі ДВ, так і моделі ДП. Під час виконання аналізу небезпек аналітик здійснює численні переходи від ДВ до ДП і назад — доти, поки обидві моделі не будуть адекватно відображати досліджувану фізичну систему (технічний пристрій).

14. Моделі ДП та ДВ широко використовуються у спеціально розроблених **комп'ютерних програмах** аналізу небезпек.

15. Складність аналізу небезпек часто пов'язана з тим, що головна небажана подія спричиняється **сукупністю первинних подій.**

Якщо небажана подія у досліджуваній системі виникає в результаті сполучення сукупності первинних подій і сполучення будь-якої комбінації меншої кількості первинних подій не спричиняє цієї небажаної події, має місце **явище мінімальних перетинів** подій. Це явище властиве складним багаторівневим системам.

4. Врахування людського чиннику при моделюванні небезпек

Людським чинником називають сукупність причин ризику, які пов'язані з помилками людини (оператора). Серед чинників ризику в системі Л-М-С людський чинник (ЛЧ) займає питому вагу 75%, природний чинник - 10%, техногенний чинник - 15%.

Людський чинник є **причиною:**

- 80-90% порушень режиму роботи ТЕС;
- 70-80% нещасних випадків на транспорті;
- 50-65% аварій літаків;
- понад 50% нещасних випадків у побуті.

Людський чинник може проявляти себе:

- **або ж** у *певні періоди* діяльності - він є наслідком недосвідченості працівника, її необережності, втоми (мк фізичної, так і психічної), проявом емоцій (хвилювання, втрата уваги тощо).
- **або ж** *постійно* - через ушкодження або дегенерацію сенсорних і рухових центрів вищих відділів нервової системи, через недостатню координованість рухів, внаслідок захворюваності на наркоманію, алкоголізм або відсутність мотивації, аутизм.

Відомі також внутрішні і зовнішні фактори, котрі сприяють виникненню помилок людини, а також елементи «контексту»

До **внутрішніх** факторів, які визначають процес прийняття рішення, а значить, дії оператора, відносять:

- розумові здібності;
- здатність утримувати у пам'яті інформацію, знання, навики;
- особливості реакції;
- стійкість до стресу.

До **зовнішніх** факторів відносять:

- характер і тип обладнання;
- оточуючі умови;
- складність завдання.

Так званий **«контекст»** фахівці визначають як психологічні фактори, що враховують попередній досвід оператора, його підготовленість, креативність, толерантність, кінцеву мету діяльності.

Відомі базові значення ймовірностей помилок людини при роботі з технікою, зокрема при зчитуванні показників приладів (табл. 2), а також множники для базових помилок, що враховують фактор стресу (табл. 3).

Окрім цього, враховується також залежність дій персоналу **від конкретних обставин:**

- зміни в складі бригади;
- зміна системи, з якою доводиться працювати;
- інше місце роботи;
- інший час роботи;
- наявність вказівок (підказок).

Таблиця 2

Помилки при зчитуванні показників приладів

№ п/п	**Представлення інформації**	**Імовірність помилки**
1	Аналоговий прилад	0,003
2	Цифровий прилад (менше 4 цифр)	0,001
3	Самописець	0,0006
4	Багатоканальний друкувальний пристрій (велика кількість параметрів)	0,005
5	Діаграмний прилад	0,01
6	Прості арифметичні розрахунки з калькулятором або без нього	0,01

Таблиця 3

Врахування фактора стресу

№ п/п	**Рівень стресу / задача**	**Коефіцієнт для номінальної 1 імовірності помилки операторів**	
		Досвідчений	Новачок
1	Дуже низький (дуже проста задача)	x2	x2
2	Оптимальний (оптимальна задача)	x1	x1
3	Оптимальний (оптимальна задача), виконання в динаміці	x1	x2
4	Помірно високий (складна задача), покрокове виконання	x2	x4
5	Екстремально високий (складна задача), виконання в динаміці	x5	x10

Перелічені обставини залежно від їх комбінацій можуть збільшувати або зменшувати ймовірність помилки оператора і об'єднуються в такі групи:

- повні зміни обставин;
- великі (значні) зміни обставин;
- помірні зміни обставин;
- малі (незначні) зміни обставин;
- нульові зміни.

Якщо ймовірність помилки без урахування змін обставин дорівнює Р, то:

- у випадку повних змін імовірність помилки складатиме $P_{зм} = 1$;
- у випадку великих змін $P_{зм} = (1+P)/2$;
- у випадку помірних змін $P_{зм} = (1 +6P)/7$;
- у випадку малих змін $P_{зм} = (1+19P)/20$;
- у випадку нульових змін $P_{зм} = P$.

ПРИКЛАД 1. Імовірність помилки при роботі студента на тренажері становить P = 0,1. Визначить, як зміниться імовірність помилки, якщо зміняться обставини (інший колектив, інший тип тренажера, інше місце і час виконання вправ, наявність чи відсутність підказок).

Розв'язання.

1. Якщо змін ***не відбулося*** (нульові зміни) $\mathbf{P_{зм} = P} = 0,1$.
2. Якщо комбінацію перелічених обставин можна кваліфікувати як ***незначні*** зміни, то імовірність помилки $P_{зм} = (1+19• 0,1)/20 = 0,145$.
3. Якщо комбінацію перелічених обставин можна кваліфікувати як ***помірні*** зміни, то $P_{зм} = (1+6• 0,1)/7 = 0,23$.
4. Якщо комбінацію перелічених обставин можна кваліфікувати як ***значні*** зміни, то $P_{зм} = (1+0,1)/2 = 0,55$.
5. Якщо зміни ***повні,*** то $P_{зм} = 1$, тобто помилка буде стовідсотково.

ПРИКЛАД 2.

Студент в процесі виконання лабораторної роботи знімає показання з двох приладів: аналогового і цифрового. Потім з одержаними даними він виконує прості арифметичні розрахунки. Одержаний результат записує в таблицю. Визначити імовірність помилкового результату, при таких відомостях (табл. 2):

- імовірність помилки при зчитуванні інформації з аналогового приладу

$P_A = 0,003$;

- імовірність помилки при зчитуванні інформації з цифрового приладу

$P_в = 0,001$;

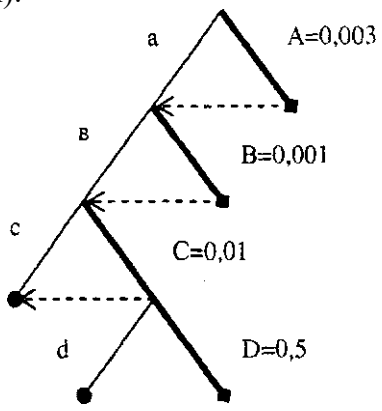
- імовірність помилки при виконанні розрахунків $P_c = 0,01$;
- імовірність звіряння з контрольним результатом $P_D = 0,5$.

Розв'язання.

Будуємо дерево аналізу надійності людини за методикою THERP - ***(Technique for Human Error Rate Prediction*** - «визначення значимості помилок людини в техніці»), розробленою в 1970 році за замовленням закордонних військових міністерств. Події в такому дереві позначаються у вигляді відрізків прямих ліній, розташованих під кутом один до одного.

Відрізки, розташовані справа, зображують неуспішні дії (відмови), котрі позначаються прописними літерами латинського алфавіту, відрізки зліва - успішні дії, позначаються малими літерами латинського алфавіту. Якщо є можливість відновлення функцій системи (ліквідації помилки), таку дію позначають горизонтальною переривчастою лінією.

Відрізки показують послідовність дій. Початок послідовності дій знаходиться вгорі. Послідовністю будемо називати дії або їх сукупність, котрі призводять до якогось результату (точка на кінці гілки).



Імовірність правильної відповіді (надійність людини):

$P_i = 0,997•0,999•0,99 + 0,997•0,999•0,01•0,5 = 0,991$;

Імовірність помилки:

$P_{пом} = 0,003 + 0,997• 0,001 + 0,997• 0,999• 0,01 •0,5 = 0,009$.

Перевірка: $Pi + P_{пом} = 0,991+0,009 = 0,999 = 1$.

ПРИКЛАД 3.

Для умов прикладу 2 визначити, як зміниться імовірність помилкового результату у випадку, якщо студент - новачок, виконує завдання в умовах дефіциту часу і в складі іншої групи.

Розв'язання.

Завдання, поставлене перед студентом - нескладне, але виконується в умовах дефіциту часу, тобто в динаміці. Тому за таблицею 3 коефіцієнт для номінальної імовірності помилки дорівнює 2. Тоді

$P_A = 0{,}003 \cdot 2 = 0{,}006;$

$P_B = 0{,}001 \cdot 2 = 0{,}002;$

$P_C = 0{,}01 \cdot 2 = 0{,}02;$

$P_D = 0{,}5.$

З врахуванням змін обставин роботи (інша група - незначні зміни)

$P_A = (1+19 \cdot 0{,}006)/20 = 0{,}0557$; $P_a = 1-0{,}0557 = 0{,}9443.$

$P_B = (1+19 \cdot 0{,}002)/20 = 0{,}0519$; $P_в = 1-0{,}0519 = 0{,}9481.$

$P_C = (1+19 \cdot 0{,}02)/20 = 0{,}069$; $P_c = 1-0{,}069 = 0{,}931.$

$P_D = 0{,}5$; $P_d = 0{,}5.$

Тоді ймовірність правильної відповіді:

$P_Н = 0{,}9443 \cdot 0{,}9481 \cdot 0{,}931 + 0{,}9443 \cdot 0{,}9481 \cdot 0{,}069 \cdot 0{,}5 = 0{,}864.$

Імовірність помилки:

$P_{пом} = 0{,}0557 + 0{,}9443 \cdot 0{,}0519 + 0{,}9443 \cdot 0{,}9481 \cdot 0{,}069 \cdot 0{,}5 = 0{,}136.$

Перевірка: $\mathbf{P_н + P_{пом}} = 0{,}864+0{,}136 = 1.$

Таким чином, імовірність помилки зросте у 0,136/0,009 ~ 15 разів!

5. Кількісне оцінювання ризику небезпек

ЗАДАЧА-ЗРАЗОК. Про людину відомо, що їй 50 повних років, чоловічої статі, мешкає у місті, є професійним будівельником (спеціальність «муляр-штукатур»). Спосіб життя людини вирізняється наявністю шкідливої звички — куріння. Відомо також, що людина має власний легковий автомобіль, використовуючи його для приватних цілей 100 годин на рік, і це є для неї основною причиною додаткового ризику.

Розрахуйте для цієї людини сумарний ризик наразитися протягом року на смертельну небезпеку.

Визначте відносну частку кожного джерела небезпеки (у процентному співвідношенні), що формує для цієї людини загальний індивідуальний ризик, і побудуйте кругову діаграму джерел ризиків. Необхідні для розрахунку дані візьміть із довідкових таблиць 5-11, наведених нижче.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Оцінимо для досліджуваної людини ризик смертельної небезпеки внаслідок соматичних та генетичних захворювань, а також через природне старіння організму:

вік 50 років означає належність до вікової групи № 12 (табл. 6), відповідно шуканий ризик для людини цієї групи (табл. 6) становить

$R_1 = 0{,}0084 = 8{,}4 \cdot 10^{3}$. Застосуємо поправку, що враховує місце проживання особи (місто) та її стать (чоловіча), звернувшись до табл. 7: коефіцієнт $K_{пр} = 1{,}45$, тому скориговане значення ризику смертельної небезпеки внаслідок соматичних та генетичних захворювань, а також через природне старіння організму становить

$R_1^* = K_{пр} \cdot R_1 = 1{,}45 \cdot 8{,}4 \cdot 10^{-3} = 1{,}22 \cdot 10^{-2}.$

2. Оцінимо для досліджуваної людини ризик загибелі протягом року внаслідок можливого *нещасного випадку на виробництві:*

будівельні спеціальності за табл. 8 мають ***код 5*** і ризик наразитися на смертельну небезпеку протягом 2024 години $R_2 = 6 \cdot 10^{-7}$. Кількість робочих годин протягом календарного року складає для цієї професійної групи робітників 2024 години, тому скориговане значення ризику наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого нещасного випадку на виробництві становить

$R_2^* = 6 \cdot 10^{-7} \cdot 2024 = 1{,}21 \cdot 10^{-3}$.

Зверніть увагу! Якби ми досліджували ризик наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого нещасного випадку на виробництві для особи протилежної статі (для *жінки*), відповідно до даних табл. 7 слід було застосувати поправку, яка враховує статистику у співвідношенні нещасних випадків між чоловіками і жінками: для даної вікової групи (50 років) воно складає 74%÷26% = 2,8 , тобто скориговане значення ризику наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого нещасного випадку на виробництві для особи *жіночої статі* становило б

$$R_2^* = 1/2{,}8 \times 1{,}21 \cdot 10^{-3} = 4{,}3 \cdot 10^{-4}.$$

3. Оцінимо для досліджуваної людини ризик наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого *нещасного випадку в побуті:*

вік 50 років означає належність до вікової групи № 12 **(табл. 5),** відповідно шуканий ризик для людини цієї групи **(табл. 5)** становить $R_3 = 0.00120 = 1{,}2\text{-}10^{-3}$. Застосуємо поправку, що враховує місце проживання особи *(місто)* та її стать *(чоловіча),* звернувшись до **табл. 7:** коефіцієнт $K_{пр} = 1{,}6$, тому скориговане значення ризику смертельної небезпеки внаслідок можливого *нещасного випадку в побуті* становить

$$R_3^* = K_{пр} \cdot R_3 = 1{,}6 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-3} = 1{,}92 \cdot 10^{-2}.$$

4. Оцінимо для досліджуваної людини ризики наразитися на смертельну небезпеку протягом року, зумовлені її *індивідуальним способом життя:* за даними **табл. 10** знаходимо ризик смерті курця, спричинений його шкідливою звичкою — курінням, $R_4 = 8000 \cdot 10^{-6}$, а за даними **табл. 7** застосовуємо поправочний коефіцієнт, що враховує стать *(чоловіча)* і місце проживання людини *(місто)* — $K_{пр} = 1{,}45$. Тепер скориговане значення ризику, смертельної небезпеки внаслідок куріння обчислюється як $R_4' = K_{пр} \cdot R_4 = 1{,}45 \cdot 8000 \cdot 10^{-6} = 1{,}16 \cdot 10^{-2}$.

Із табл. 8 дістаємо, що для непрофесійної діяльності "Водіння автомобіля" погодинний ризик наразитися на смертельну небезпеку становить $R_4 = 1 \cdot 10^{-4}$. Оскільки за умовою задачі кількість годин водіння автомобіля протягом року становить 100 год., скориговане значення ризику смертельної небезпеки внаслідок ДТП обчислюється, зважаючи на поправочний коефіцієнт $K_{пр}$, = 1,6 (табл. 7), що враховує стать *(чоловіча)* і місце проживання людини *(місто),* як

$$R_4'' = K_{пр} \cdot 100 \cdot R_4 = 1{,}6 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1{,}6 \cdot 10^{-2}.$$

Зв.ув! Якби ми досліджували ризик наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого нещасного випадку при непрофесійному водінні автомобіля для особи протилежної статі (для *жінки),* відповідно до даних табл. 7 слід було застосувати поправку, яка враховує статистику ризику нещасного випадку залежно від статі й місцевості, де мешкає людина: для жінок, що мешкають у місті, поправочний коефіцієнт $K_т = 0{,}28$, тому скориговане значення ризику наразитися на смертельну небезпеку протягом року внаслідок можливого нещасного випадку, пов'язаного з водінням власного автомобіля, для особи *жіночої статі* становило б

$$R_4'' = 0{,}28 \times 100 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 2{,}8 \cdot 10^{-3}.$$

5. Оцінимо для досліджуваної людини сумарний ризик (загальний) наразитися на смертельну небезпеку протягом року, спричинений як її професійною діяльністю, так і індивідуальним способом життя

$R = R_1^* + R_2^* + R_3^* + (R_4' + R_4'') = 1{,}22 \cdot 10^{-2} + 1{,}21 \cdot 10^{-3} + 1{,}92 \cdot 10^{-3} + 1{,}16 \cdot 10^{-2} + 1{,}6 \cdot 10^{-2} = 4{,}29 \cdot 10^{-2}$.

6. Оцінимо для досліджуваної людини відносні частки кожного з ризиків наразитися на смертельну небезпеку протягом року і подаємо їх у вигляді діаграми.

Висновок. Очевидно, що домінуючим внеском у сукупний (загальний) ризик наразитися на смертельну небезпеку є доданок ($R_4' + R_4''$) (27% + 38% = 65%), зумовлений індивідуальним способом життя людини.

7. **Проведемо якісний аналіз** абсолютних величин складових загального ризику для даної людини за упорядкованою шкалою ризиків смертельних небезпек **(табл. 12).**

Ризик померти внаслідок соматичних та генетичних захворювань, а також через природне старіння організму становить $1{,}22 \cdot 10^{-}$ Така величина серед групи високого ризику відноситься до розряду **екстремальних** ризиків.

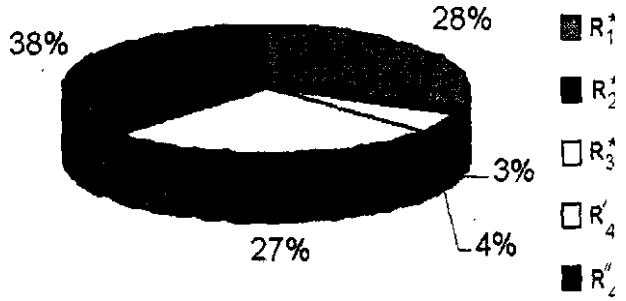
Ризик померти внаслідок нещасного випадку на виробництві ($1{,}21 \cdot 10^{-3}$) – **дуже високий.**

Ризик наразитися на смертельну небезпеку в побуті ($1{,}92 \cdot 10^{-3}$) - теж **дуже високий.**

Ризик передчасної смерті внаслідок індивідуального способу життя (куріння і поїздки на автомобілі) становить $2{,}76 \cdot 10^{-2}$, що класифікується як **екстремальний ризик.**

Тож загальний (сумарний) ризик передчасної смерті внаслідок цих факторів - **екстремальний.**

Діаграма ризиків смертельних небезпек



ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. ***Схарактеризуйте основні способи визначення ризику прояву небезпек.***
2. ***Поясніть, у чому полягає відмінність концепції абсолютної безпеки і концепції прийнятного (допустимого) ризику?***
3. ***За якими критеріями здійснюють оцінювання ризику небезпек?***
4. ***У який спосіб здійснюється управління ризиком?***
5. ***Розрахуйте й оцініть індивідуальний ризик загибелі людини, спричинений негативними наслідками куріння, якщо, за даними медиків, із кожного мільйона населення планети кожні 2-3 години вмирає 1 курець.***
6. ***Розрахуйте й оцініть індивідуальний ризик загибелі людини, спричинений негативними наслідками надмірного вживання алкоголю, якщо, за даними медиків, із кожного мільйона населення планети кожні 4-5 днів вмирає 1 людина, котра зловживала алкоголем.***

Таблиця 5

Ризик наразитися на смертельний нещасний випадок в побуті для чоловіків різного віку (на 1-ну людину протягом року)

Вікові групи,за №	Вікові групи, роки	Ризик смерті у побуті	Вікові групи, за №	Вікові групи, роки	Ризик смерті у побуті
-	Усі літа разом	0,00092			
-	Працездатний вік (15-60 років)	0,00097	№ 10	40-44	0,00089
№ 1	0	0,00078	№ 11	45-49	0,00100
№ 2	1-4	0,00031	№ 12	50-54	0,00120
№ 3	5-9	0,00025	№ 13	55-59	0,00130
№ 4	10-14	0,00022	№ 14	60-64	0,00140
№ 5	15-19	0,00072	№ 15	65-69	0,00150
№ 6	20-24	0,00110	№ 16	70-74	0,00170
№ 7	25-29	0,00088	№ 17	75-79	0,00270
№ 8	30-34	0,00083	№ 18	80-84	0,00420
№ 9	35-39	0,00084	№ 19	85 і старші	0,00700

Таблиця 6

Ризик смерті людини від генетичних та соматичних захворювань і внаслідок природного старіння організму (на 1-ну людину за рік)

Вікові групи, За №	Вікові групи,роки	Ризик смерті у побуті	Вікові групи, За №	Вікові групи, роки	Ризик смерті у побуті
-	Усі літа разом	0,01050			
-	Працездатний вік (15-60 років)	0,03800	№ 10	40-44	0,00270
№ 1	0	0,02300	№ 11	45-49	0,00480
№ 2	1-4	0,00080	№ 12	50-54	0,00840
№ 3	5-9	0,00030	№ 13	55-59	0,01500
№ 4	10-14	0,00020	№ 14	60-64	0,02500
№ 5	15-19	0,00030	№ 15	65-69	0,03800
№ 6	20-24	0,00040	№ 16	70-74	0,05900
№ 7	25-29	0,00050	№ 17	75-79	0,09100
№ 8	30-34	0,00090	№ 18	80-84	0,14300
№ 9	35-39	0,00160	№ 19	85 і старші	0,24000

Таблиця 7

Поправковий коефіцієнт Кпр для урахування місця проживання людини та Її статі.

Тип населеного пункту	Нещасні випадки		Хвороби	
	Чоловіки	Жінки	Чоловіки	Жінки
Місто	1,6	0,28	1,45	0,38
Село	1,9	0,31	1,7	0,42

Таблиця 8

Ризик смертельної небезпеки, спричиненої різними видами професійної та непрофесійної діяльності (на 1-ну людину *чоловічої* статі за 1-ну годину)

Код виду діяль-ності	Вид діяльності	Ризик Смертельної небезпеки	Код Виду діяль-ності	Вид діяльності	Ризик смертельної небезпеки
Виробничі професії			15	Пожежники	$1*10^{-7}$
1	Працівники вуглекоксівних підприємств	$5*10^{-7}$ – $5*10^{-6}$	16	Поліцейські, міліціонери, військовослужбовці	$1,5*10^{-7}$
2	Робітки ні, пов'язані із процесом вулканізації	$5*10^{-7}$ – $5*10^{-6}$	17	Водії-професіонали	$3*10^{-7}$
3	Моряки на риболовецьких траулерах	$6*10^{-7}$	18	Боксери-професіонали	$4*10^{-7}$
4	Працівники вугільних шахт, шахтарі	$2,5*10^{-7}$ – $6*10^{-7}$	19	Верхолази, монтажники	$3,2*10^{-6}$
5	Будівельні робітники	$6*10^{-7}$	20	Трактористи	$4,2*10^{-6}$
6	Гончарі та глазурувальники	$2,5*10^{-7}$	21	Льотчики цивільної авіації	$2,1*10^{-7}$ – $1*10^{-6}$
7	Працівники АЕС (нерадіаційний ризик)	$4*10^{-8}$	22	Льотчики-випробувачі	$6*10^{-5}$
8	Працівники легкої промисловості	$5*10^{-9}$ – $5*10^{-8}$	23	Військові вертольотчики	$1,2*10^{-5}$
10	Працівники важкої промисловості	$4*10^{-8}$ – $6*10^{-8}$	Непрофесійний спорт, дозвілля		
11	Працівники промисловості (в цілому)	$1,2*10^{-7}$	24	Велосипедисти, лижники, легкоатлети	$3*10^{-7}$
Невиробничі професії			25	Боксери, борці	$4,5*10^{-7}$
			26	Мисливці, біатлоністи	$7*10^{-7}$
12	Працівники торгівлі	$3,5*10^{-8}$	29	Гребці, плавці	$1*10^{-5}$
13	Працівники сфери обслуговування, педагоги, студенти	$5*10^{-8}$	30	Альпіністи, спелеологи, дайвери	$2,7*10^{-5}$
			31	Жокеї, кіннотники	$1*10^{-4}$
14	Працівники села, фермери	$6*10^{-8}$	32	Водії автомобіля	$1*10^{-3}$ – $1*10^{-5}$
			33	Інші види занять	$1*10^{-8}$

Таблиця 9

Співвідношення нещасних випадків, спричинених різними видами діяльності, між особами протилежної статі залежно від їх віку, %

Вікова група, роки	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74
Чоловіки	80	81	76	74	71	62
Жінки	20	19	24	26	29	38
Разом	100	100	100	100	100	100

Таблиця 10

Ризик смерті людини внаслідок згубних звичок порівняно з ризиком смертельних небезпек невиробничого характеру (на 1-ну людину за рік)

№	Джерело небезпеки	Ризик загибелі	№	Джерело небезпеки	Ризик загибелі
1	Паління	$8000*10^{-6}$	7	Випадкові утоплення	$91*10^{-6}$
2	Надмірне споживання Алкоголю	$212*10^{-6}$	8	Випадкові удушення, Закупорювання Дихальних шляхів	$58*10^{-6}$
3	Дорожньо-транспортні Пригоди (ДТП)	$190*10^{-6}$	9	Ураження електричним Струмом	$19*10^{-6}$
4	Побутові отруєння	$97*10^{-6}$	10	Самогубства та Само ушкодження	$258*10^{-6}$
5	Випадкові падіння	$62*10^{-6}$	11	Убивства й навмисні Ушкодження	$117*10^{-6}$
6	Ураження при пожежі	$48*10^{-6}$	12	Дія радону-222, що Міститься у повітрі приміщень	$250*10^{-6}$

Таблиця 11

Класифікатор безпеки професійної діяльності

Категорія безпеки	Умови професійної діяльності	Ризик загибелі 1-ї людини на рік
1	Безпечні (працівники швейної, взуттєвої, текстильної, паперової, типографської, харчової та лісової промисловості)	<0,0001 ($R<1*10^{-4}$)
2	Відносно безпечні (працівники металургійної, суднобудівної, вуглевидобувної промисловості, чавунно-ливарного, гончарного та керамічного виробництв, працівники промисловості загалом, а також працівники цивільної авіації)	0,0001…0,0010 ($1*10^{-4}<R<1*10^{-3}$)
3	Небезпечні (зайняті у вуглекоксівному та вулканізаційному виробництві, члени екіпажів риболовецьких траулерів, будівельні робітники, верхолази, трактористи)	0,0010…0,0100 ($1*10^{-3}<R<1*10^{-2}$)
4	Особливо небезпечні (льотчики-випробувачі, члени екіпажів військових вертольотів, водолази)	>0,0100 ($R>1*10^{-2}$)

Таблиця 12

Шкала порівняння ризиків смертності.

Упорядкована шкала ризиків смертності								
Низький			Середній		Високий			
$<1*10^{-8}$	$1*10^{-8}$	$1*10^{-7}$	$1*10^{-6}$	$1*10^{-5}$	$1*10^{-4}$	$1*10^{-3}$	$1*10^{-2}$	$>1*10^{-2}$
Знехтуваний	Низький	Відноснонизький	Середній	Відносносередній	Високий	Дуже високий	Екстремальний	