

Тема 5. ВИБІР МЕТОДІВ ОЦІНКИ РИЗИКУ

5.1. Стислий опис методів оцінки ризику.

5.2. Методи оцінки ризику:

- Мозковий штурм
- Структуровані або частково структуровані інтерв'ю
- Метод Дельфі
- Контрольні листи
- Попередній аналіз небезпек (РНА)
- Дослідження HAZOP
- Аналіз безпеки і критичних контрольних точок
- Оцінка токсикологічного ризику
- Структурований аналіз сценаріїв методом «що, якщо?». Метод Swift
- Аналіз сценаріїв
- Аналіз впливу на бізнес (ВІА)
- Аналіз першопричини
- Аналіз видів і наслідків відмов; аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMEA)
- Аналіз дерева несправностей (FTA)
- Аналіз дерева подій (ETA)
- Аналіз причин та наслідків
- Причинно–наслідковий аналіз (діаграма Ісікави)
- Аналіз рівнів захисту (LOPA)
- Аналіз дерева рішень
- Аналіз впливу людського фактора (HRA)
- Аналіз «краватка–метелик»

- Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM)
- Аналіз прихованих дефектів і аналіз паразитних кіл (SA)
- Марківський аналіз
- Моделювання методом Монте–Карло
- Байєсівський аналіз і мережа Байєса
- Криві FN
- Індекси ризику
- Матриця наслідків і ймовірностей
- Аналіз ефективності витрат (аналіз «витрат і вигод»)
- Мультикритеріальний аналіз рішень (MCDA)
- Метод Файн–Кінні

5.1. Стислий опис методів оцінки ризику

Загальні положення

У цьому підрозділі наведено опис способів вибору методів оцінки ризику, а також основні методи і прийоми оцінки ризику. У деяких випадках використовують кілька методів оцінки ризику.

Вибір методу. Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або декількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані повинні бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування. У підрозділі подано концептуальні співвідношення між різними категоріями методів оцінки ризику та суттєвими факторами ризику в конкретній ситуації і наведено приклади вибору методу оцінки ризику для конкретної ситуації.

При виборі методу оцінки ризику необхідно враховувати, що метод повинен:

- ✓ відповідати ситуації, що розглядається, та організації;

✓ надавати результати у формі, що сприяє підвищенню обізнаності про вид ризику і способи його обробки;

✓ забезпечувати простежуваність, відтворюваність і верифікацію процесу та результатів.

Має бути наведено обґрунтування вибору методів оцінки ризику із зазначенням їх прийнятності та придатності. Необхідно забезпечити відповідність використовуваних методів і вихідних даних для об'єднання отриманих результатів різних досліджень.

Після прийняття рішення про виконання оцінки ризику та визначення сфери її застосування слід вибрати методи оцінки ризику на основі:

➤ *мети дослідження*. Цілі оцінки ризику безпосередньо пов'язані з методами, що використовуються. Наприклад, якщо проводиться порівняльне дослідження різних варіантів, то можуть бути застосовані менш деталізовані моделі опису наслідків для аналогічних частин системи;

➤ *відповідальності за прийняті рішення*. У деяких випадках необхідний високий рівень деталізації, щоб прийняти рішення, в інших – достатньо більш загального розуміння;

➤ *типу і діапазону аналізованого ризику*;

➤ *можливих наслідків небезпечної події*. Рішення щодо глибини оцінки ризику повинно відображати початкове сприйняття наслідків (яке, швидше за все, зміниться після завершення попередньої оцінки ризику);

➤ *ступеня необхідних експертиз, людських та інших ресурсів*. Простий правильно застосований метод може забезпечити кращі результати, якщо він відповідає сфері застосування оцінки, ніж складна процедура, виконана з помилками. Зазвичай зусилля з оцінки ризику мають відповідати рівню аналізованого ризику;

➤ *доступності інформації і даних*. Для деяких методів необхідно більше інформації та даних, ніж для інших;

➤ *потреби в модифікації / оновленні оцінки ризику.* Можливо, в майбутньому оцінка повинна бути змінена / оновлена, і для цього можуть бути застосовані різні методи;

➤ *обов'язкових і договірних вимог.*

На вибір методу оцінки ризику впливають різні фактори, такі, як доступність ресурсів, характер і ступінь невизначеності даних та інформації, складність методу.

Доступність ресурсів

На вибір методу оцінки ризику впливають такі чинники доступності ресурсів:

- практичний досвід, навички та можливості групи оцінки ризику;
- обмеження за часом та інші ресурси організації;
- доступний бюджет, якщо необхідні зовнішні ресурси.

Характер і ступінь невизначеності інформації. Характер і ступінь невизначеності інформації включають в себе розуміння якості, кількості та повноти інформації про ризик, що аналізується. Розуміння передбачає усвідомлення достатності отриманої інформації про ризик, його джерела і причини, його наслідки для досягнення встановлених цілей. Невизначеність може бути пов'язана з невизначеністю даних і недоліком достовірних даних. Наприклад, для зниження невизначеності можуть бути змінені методи збору даних або способи застосування цих методів в організації. Причиною невизначеності може бути незастосування на місцях ефективних методів збору даних про ризик, що ідентифікується. Невизначеність може бути невід'ємною властивістю зовнішніх і внутрішніх цілей та сфери застосування менеджменту ризику в організації. Доступні дані не завжди забезпечують достовірну основу для прогнозування. Для унікальних видів ризику можуть бути відсутні хронологічні дані, а причетні сторони можуть по-різному інтерпретувати доступні дані про ризик. Особи, які виконують оцінку ризику, повинні розуміти тип і характер невизначеності та оцінити її значення для достовірності оцінки

ризик. Необхідно підтримувати постійний обмін інформацією про ризик з особами, що приймають рішення.

Складність. Завдання оцінки ризику може бути складним, наприклад, оцінка ризику для складної системи не зводиться до оцінки ризику її компонентів без урахування їх взаємодії. У деяких випадках обробка одиничного ризику може мати велике значення через вплив ризику на іншу діяльність. Необхідно розуміти зв'язок послідовних дій і ризику, щоб запобігти ситуації, при якій дії щодо управління одним ризиком призводять до катастрофічної ситуації в іншій сфері. Розуміння складності одиничного ризику або набору ризиків організації вкрай важливо при виборі методу(-ів) оцінки ризику.

Типи методів оцінки ризику. Методи оцінки ризику можуть бути класифіковані різними способами, що забезпечує розуміння їх переваг і недоліків, що наведено у таблиці 5.1. У підрозділі 5.2 дано опис кожного методу оцінки ризику щодо отриманої оцінки та рекомендації відповідно до його застосування в конкретних ситуаціях.

Види методів

Класифікація методів пов'язана з такими етапами процесу оцінки ризику:

- ідентифікація ризику;
- аналіз ризику – аналіз наслідків;
- аналіз ризику – якісна, змішана або кількісна оцінка імовірнісних характеристик ризику;
 - аналіз ризику – оцінка ефективності існуючих засобів управління;
 - аналіз ризику – кількісна оцінка рівня ризику;
 - порівняльна оцінка ризику.

Для кожного етапу процесу оцінки ризику застосовність методу оцінки ризику визначається за шкалою: *точно застосовується, застосовується і не застосовується* (табл. 5.1).

Факторами, що впливають на вибір методу оцінки ризику, є:

- складність проблеми і методів, необхідних для аналізу ризику;

- характер і ступінь невизначеності оцінки ризику, заснованої на доступній інформації, та відповідність цілям;
- необхідні ресурси: тимчасові, інформаційні та ін.;
- можливість отримання кількісних оцінок вихідних даних.

Для кожного методу рівень відповідності визначається за шкалою: **високий, середній або низький.**

Таблиця 5.1 – Характеристика застосування методів оцінки ризику

Найменування методу	Процес оцінки ризику					Номер додатка
	Ідентифікація ризику	Аналіз ризику			Порівняльна оцінка ризику	
		Наслідки	Ймовірні характеристики	Рівень ризику		
Мозковий штурм	SA ¹⁾	NA ²⁾	NA	NA	NA	В 01
Структуровані або частково структуровані інтерв'ю	SA	NA	NA	NA	NA	В 02
Метод Дельфі	SA	NA	NA	NA	NA	В 03
Контрольні листи	SA	NA	NA	NA	NA	В 04
Попередній аналіз небезпеки (РНА)	SA	NA	NA	NA	NA	В 05
Дослідження небезпеки та працездатності (HAZOP)	SA	SA	NA	NA	NA	В 06
Аналіз небезпеки та критичних контрольних точок (НАССР)	SA	SA	NA	NA	SA	В 07
Оцінка токсикологічного ризику	SA	SA	SA	SA	SA	В 08
Структурований аналіз сценаріїв методом «що, як що?» (SWIFT)	SA	SA	SA	SA	SA	В 09
Аналіз сценаріїв	SA	SA	A	A	A	В 10
Аналіз впливу на бізнес (BIA)	A	SA	A	A	A	В 11
Аналіз першопричини (RCA)	NA	SA	SA	SA	SA	В 12
Аналіз видів та наслідків відмов (FMEA)	SA	SA	SA	SA	SA	В 13

Продовження табл. 5.1

Аналіз дерева несправностей (FTA)	A	NA	SA	A	A	B 14
Аналіз дерева подій (ETA)	A	SA	A	A	NA	B 15
Аналіз причин та наслідків	A	SA	SA	A	A	B 16
Причино–наслідковий аналіз	SA	SA	NA	NA	NA	B 17
Аналіз рівнів захисту (LOPA)	A	SA	A	A	NA	B 18
Аналіз дерева рішень	NA	SA	SA	A	A	B 19
Аналіз впливу людського фактора (HRA)	SA	SA	SA	SA	A	B 20
Аналіз «краватка-метелик»	NA	A	SA	SA	A	B 21
Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності	SA	SA	SA	SA	SA	B 22
Аналіз скритих дефектів (SA)	A	NA	NA	NA	NA	B 23
Марківський аналіз	A	SA	NA	NA	NA	B 24
Моделювання методом Монте–Карло	NA	NA	NA	NA	SA	B 25
Байєсівський аналіз і мережа Байєса	NA	SA	NA	NA	SA	B 26
Криві FN	A	SA	SA	A	SA	B 27
Індекси ризику	A	SA	SA	A	SA	B 28
Матриця наслідків та ймовірностей	SA	SA	SA	SA	A	B 29
Аналіз ефективності витрат (CBA)	A	SA	A	A	A	B 30
Мультикритеріальний аналіз рішень (MCDA)	A	SA	A	SA	A	B 31
¹⁾ SA – точно застосовується. ²⁾ NA – не застосовується. ³⁾ A – застосовується.						

5.2. Методи оцінки ризику

Мозковий штурм

Стислий огляд

Метод мозкового штурму – це обговорення проблеми групою фахівців у доброзичливій манері, метою якого є ідентифікація можливих видів відмов і відповідних небезпек, ризику, критеріїв прийняття рішень та/або способів обробки ризику. Термін «мозковий штурм» часто використовують більш широко для позначення будь-якого обговорення в групі. Однак у процесі класичного мозкового штурму застосовують спеціальні методи, коли твердження одних учасників обговорення сприяють виникненню у решти учасників мозкового штурму нових оригінальних ідей.

Метод передбачає стимулювання обговорення, періодичний напрям обговорення групи в суміжні сфери та забезпечення охоплення проблем, виявлених у результаті обговорення.

Область застосування

Метод мозкового штурму може бути використаний самостійно або застосований у поєднанні з іншими методами оцінки ризику. Метод спрямований на заохочення образного мислення учасників і застосовується на всіх етапах процесу менеджменту ризику і всіх стадіях життєвого циклу системи. Цей метод може бути використаний для загального обговорення, коли проблеми тільки ідентифіковані, для більш детального аналізу і для конкретних проблем.

При застосуванні методу мозкового штурму важливе значення надається можливості учасників прогнозувати ситуацію. Тому цей метод особливо корисний при ідентифікації ризику застосування нових технологій, коли відсутні дані або необхідні нові нестандартні способи вирішення проблеми.

Вхідні дані

Команда фахівців, що володіють знанням організації, системи, процесу або методів, які необхідно оцінити.

Процес виконання методу

Процес мозкового штурму може бути формальним або неформальним. Формальний процес мозкового штурму зазвичай більш структурований: учасники заздалегідь підготовлені, точно встановлені мета обговорення і способи оцінки висунутих ідей та отриманих результатів. Неформальний процес мозкового штурму менш структурований і часто має вузькоспеціалізований характер.

У формальному процесі *ведучий* виконує такі дії:

- формулює до обговорення навідні і провокуючі запитання відповідно до обговорюваної проблеми;

- визначає цілі обговорення і пояснює його порядок;

- першим починає обговорення (задає напрям обговорення), а члени команди розглядають висунуті ідеї, намагаючись ідентифікувати якомога більше проблем і рішень. При цьому ніхто не обговорює правильні вони чи ні і необхідність внесення їх до списку. Всі ідеї мають право на внесення до списку, що забезпечує вільне обговорення без заборон і зупинок. Всі вхідні дані беруть і не критикують, тому група швидко просувається в дослідженні і всебічному обговоренні проблеми;

- *ведучий* може направити обговорення в інше русло шляхом залучення нових членів команди, визначати ідеї, що висловлені в одному напрямі, вичерпані або обговорення яких занадто відхилилося від поставлених цілей. Основна мета полягає в необхідності зібрати якомога більше різноманітних ідей для подальшого аналізу.

Вихідні дані

Вихідні дані залежать від стадії процесу менеджменту ризику, на якій застосований метод мозкового штурму, наприклад, на стадії ідентифікації вихідними даними можуть бути переліки небезпечних подій і необхідних засобів управління.

Переваги та недоліки

Перевагами методу мозкового штурму є:

– розвиток в учасників нестандартного мислення, яке допомагає в ідентифікації нових видів ризику знаходити нові рішення;

– залучення до обговорення ключових причетних сторін і, отже, поліпшення процесу оновлення інформації;

– швидкість і легкість застосування методу.

Недоліки методу:

– можливий недолік навичок і знань учасників обговорення для ефективного генерування ідей;

– оскільки метод простий і неструктурований, то важко перевірити всебічність обговорення та підтвердити, що всі небезпеки і види ризику ідентифіковані;

– динаміка обговорення в групі може бути такою, при якій деякі учасники, що володіють цінними ідеями, не проявляють себе, в той час як інші домінують при обговоренні. Цей недолік може бути подоланий шляхом залучення комп'ютерної техніки та використання методу закритих груп або дискусійного форуму. Метод комп'ютерного мозкового штурму допускає анонімну участь, що дозволяє уникнути особистих і політичних розбіжностей учасників. При використанні методу закритих груп ідеї направляються координатору і потім обговорюються членами групи.

Структуровані або частково структуровані інтерв'ю

Стислий огляд

У структурованому інтерв'ю опитуваному ставлять запитання із заздалегідь підготовленого переліку, що заохочують всебічний аналіз ситуації і, таким чином, більш повну ідентифікацію небезпек і ризику. Частково структуроване інтерв'ю аналогічно структурованому, однак воно забезпечує більшу свободу при обговоренні досліджуваної проблеми.

Сфера застосування

Структуровані і частково структуровані інтерв'ю корисні в ситуаціях, коли важко зібрати людей для обговорення або коли вільне обговорення в групі

неможливо. Ці види інтерв'ю найчастіше використовують як частину процесу аналізу ризику для ідентифікації небезпек або оцінки ефективності засобів управління. Вони можуть бути застосовані на всіх стадіях проекту або процесу. Структуровані і частково структуровані інтерв'ю можуть бути використані при зборі вхідних даних для оцінки ризику причетними сторонами.

Вхідні дані

Вхідні дані включають:

- точне визначення цілей інтерв'ю;
- список опитуваних, який повинен бути складений з урахуванням інтересів залучених причетних сторін;
- перелік запитань.

Процес виконання методу

Спочатку необхідно скласти перелік запитань, що направляють роздуми опитуваного. Запитання мають бути, наскільки можливо, простими, викладені зрозумілою для опитуваного мовою і охоплювати тільки одну проблему. Відповіді на запитання не повинні бути обмежені за часом. Запитання, спрямовані на роз'яснення відповідей, повинні бути підготовлені заздалегідь.

Потім запитання мають бути запропоновані опитуваній особі. При уточненні відповіді повинні бути обмеження за часом. Необхідно стежити за тим, щоб постановка запитання не підказувала опитуваному певну відповідь.

При аналізі відповідей необхідно проявляти гнучкість і забезпечити можливість дослідження сфер, пропонує опитуваними у своїх відповідях.

Вихідні дані

Вихідними даними є інформація про сприйняття причетними сторонами проблем, які є предметом інтерв'ю.

Переваги та недоліки

Переваги структурованого інтерв'ю:

- аналізування проблеми опитуваними;
- обмін інформацією «один на один» дозволяє розглянути проблему з усіх сторін;

– можливість залучити до обговорення проблеми більшу кількість причетних сторін, ніж при методі мозкового штурму, в якому задіяна відносно невелика група осіб.

Недоліки включають таке:

– структуроване інтерв'ю потребує великих витрат часу інтерв'юера для отримання й обробки різноманітних і численних думок про проблему;

– метод допускає упередженість і небажання обговорювати проблему в групі;

– при використанні методу важко застосувати способи стимулювання і фантазії людини, які є особливістю мозкового штурму.

Метод Дельфі

Стислий огляд

Метод Дельфі призначений для отримання узагальненої думки групи експертів. Хоча цей термін сьогодні часто використовують більш широко у всіх формах мозкового штурму, істотною особливістю методу Дельфі є те, що експерти висловлюють свою думку індивідуально й анонімно, при цьому маючи можливість дізнатися думки інших експертів.

Сфера застосування

Метод Дельфі може бути застосований на всіх стадіях процесу менеджменту ризику або всіх етапах життєвого циклу системи, скрізь, де необхідні узгоджені оцінки експертів.

Вхідні дані

Варіанти рішень проблеми, для відбору яких необхідна узгоджена єдина думка.

Процес виконання методу

Процес включає в себе проведення частково структурованого анкетного опитування групи експертів.

При цьому експерти не повинні зустрічатися один з одним, що дозволяє забезпечити незалежність їхніх думок.

Має бути виконана така процедура:

- формування групи виконання та моніторингу процесу Дельфі;
- вибір групи експертів (можуть бути сформовані одна або декілька груп фахівців);
- розробка початкового переліку запитань;
- тестування переліку запитань;
- відправлення переліку запитань індивідуально кожному учаснику дискусії;
- аналіз та узагальнення відповідей експертів і поширення результатів серед учасників дискусії;
- повторне опитування учасників дискусії та повторення процесу доти, доки не буде досягнута згода з обговорюваної проблеми.

Вихідні дані

Єдина думка з проблеми.

Переваги та недоліки

Переваги методу включають таке:

- оскільки процедура є анонімною, більш імовірно, що будуть виражені непопулярні думки;
- всі погляди на проблему рівнозначні, що дозволяє уникнути домінування думки окремих осіб;
- отримання прав власності на вихідні дані;
- учасники обговорення не повинні знаходитися в одному конкретному місці у конкретний час.

Недоліки методу:

- метод Дельфі є трудомістким і витратним за часом;
- учасники повинні точно і ясно висловити свої думки в письмовій формі.

Контрольні листи

Стислий огляд

Контрольні листи являють собою переліки небезпек, ризику або відмов засобів управління, які зазвичай розробляють на основі отриманого раніше досвіду, результатів попередньої оцінки ризику або результатів відмов, що сталися в минулому.

Сфера застосування

Контрольний лист може бути використаний для ідентифікації небезпек і ризику або оцінки ефективності засобів управління. Контрольні листи можуть бути використані на всіх стадіях життєвого циклу продукції, процесу або системи. Контрольні листи можуть бути використані як частина інших методів оцінки ризику, проте вони найбільш корисні для перевірки повноти розгляду досліджуваної проблеми після застосування більш образних і творчих методів при ідентифікації нових проблем.

Вхідні дані

Попередня інформація та експертні оцінки з проблеми, що забезпечують вибір запитань та розробку значущого контрольного листа (бажано затвердженого).

Процес виконання методу

Повинна бути виконана така процедура:

- визначення сфери застосування;
- складання контрольного листа так, щоб він охоплював всю сферу застосування. Контрольні листи мають бути ретельно складені для досягнення поставленої мети. Наприклад, складений раніше контрольний лист не може бути використаний при ідентифікації нових небезпек або ризику;
- особа або група осіб повинні застосовувати контрольний лист послідовно до кожного елементу процесу або системи для визначення того, чи подано цей елемент у контрольному листі.

Вихідні дані

Вихідні дані залежать від стадії процесу менеджменту ризику, на якій застосовані контрольні листи. Наприклад, вихідними даними можуть бути переліки неадекватних засобів управління або переліки небезпек.

Переваги та недоліки

Переваги методу контрольних листів:

- контрольні листи можуть використовувати особи, які не є експертами;
- якщо контрольні листи добре розроблені, то вони об'єднують різноманітні види експертних оцінок у просту для використання форму оцінки;
- контрольні листи забезпечують те, що основні проблеми не упущені.

Недоліки методу контрольних листів:

- робота з контрольними листами часто стримує свободу думок при ідентифікації небезпек;
- контрольні листи використовують для дослідження «відомих знань», але не «відомого незнання» або «невідомого незнання»;
- застосування контрольних листів заохочує формальну поведінку персоналу за принципом «поставити галочку»;
- метод контрольних листів заснований на спостереженнях, тому існує стійка тенденція не бачити або не помічати проблеми.

Попередній аналіз небезпек (РНА)

Стислий огляд

РНА (Preliminary Hazard Analysis) є простим індуктивним методом аналізу, мета якого полягає в ідентифікації небезпек, небезпечних ситуацій і подій, які можуть порушити роботу або завдати шкоди цьому виду діяльності, обладнанню або системі.

Сфера застосування

РНА зазвичай виконують на ранніх стадіях розробки проекту в умовах нестачі інформації про деталі проекту або робочих процесів. РНА часто передує подальшим дослідженням або спрямований на отримання інформації

для розробки вимог до проектованої системи. РНА також може бути корисний при аналізі існуючих систем, спрямованому на ранжирування небезпек і ризику для подальшого аналізу ризику.

Вхідні дані

Вхідні дані включають в себе:

- інформацію щодо оцінюваної системи;
- деталі проекту системи, які доступні і стосуються справи.

Процес виконання методу

Перелік небезпек, загальних небезпечних ситуацій та ризику формують на основі такої інформації:

- дані про матеріали що використовуються чи виготовляються, їх хімічної або іншої активності;
- перелік обладнання, що використовується;
- відомості про робоче середовище;
- схема розташування обладнання;
- відомості про взаємодію компонентів системи та ін.

Для ідентифікації ризику і подальшої оцінки може бути виконано якісний аналіз наслідків небажаної події та їх ймовірностей.

РНА слід повторювати в міру проходження стадій проектування, розробки і випробувань для виявлення нових небезпек і внесення необхідних змін. Отримані результати можуть бути подані у вигляді таблиці або у вигляді «дерева».

Вихідні дані

Вихідні дані включають в себе:

- ✓ перелік небезпек і відповідного ризику;
- ✓ рекомендації щодо прийняття ризику, рекомендовані засоби управління, вимоги до конструкції або запит на виконання більш детальної оцінки.

Переваги та недоліки

Переваги методу:

- метод РНА можна використовувати в ситуації обмеженої інформації;
- метод РНА дозволяє досліджувати ризик на ранніх стадіях життєвого циклу системи.

Недоліки методу:

- метод РНА надає тільки попередню інформацію;
- метод РНА не є всебічним методом і не може забезпечити детальну інформацію про небезпечні події та способи їх запобігання.

Дослідження HAZOP

Стислий огляд

Абревіатура HAZOP означає дослідження безпеки і працездатності (Hazard and Operability Study). Дослідження HAZOP є структурованим і систематизованим аналізом продукції, запланованим для існуючого процесу, процедури або системи. Дослідження HAZOP є методом ідентифікації небезпек і ризику для людей, устаткування, навколишнього середовища та/або досягнення цілей організації. Від групи дослідження HAZOP зазвичай очікують по можливості конкретних рішень з обробки ризику.

HAZOP є якісним методом, заснованим на використанні керуючих слів, які допомагають зрозуміти, чому мета проектування або умови функціонування не можуть бути досягнуті на кожному етапі проекту, процесу, процедури або системи. Дослідження HAZOP зазвичай виконує міждисциплінарна група протягом кількох засідань.

Дослідження HAZOP, подібно методу FMEA, спрямоване на ідентифікацію видів відмов процесу, системи або процедури, їх причин та наслідків. Відмінність дослідження HAZOP від методу FMEA полягає в тому, що при застосуванні дослідження HAZOP розглядають небажані результати та відхилення від намічених результатів і умов для пошуку можливих причин і видів відмови, тоді як у методі FMEA аналіз починають з ідентифікації видів відмови.

Сфера застосування

Дослідження HAZOP спочатку було розроблено для аналізу системи хімічних процесів, але згодом сфера його застосування була розширена для застосування в технічних системах і складних виробництвах. Сфера застосування методу включає в себе механічні та електронні системи, процедури, системи програмного забезпечення, організаційні зміни, розробку та аналіз юридичних документів (наприклад, контрактів) та ін. Процес дослідження HAZOP може бути застосований при будь-яких змінах конструкції, компонента(-ів), розроблених процедур і дій людини.

Дослідження HAZOP широко використовують для аналізу програмного забезпечення. Якщо його застосовують до управління безпекою критичних видів обладнання та комп'ютерних систем, то метод позначають CHAZOP (Дослідження управління небезпекою і працездатністю або дослідження комп'ютерної небезпеки і працездатності – Control Hazards and Operability Analysis).

Дослідження HAZOP зазвичай роблять на стадії деталізації конструкції, коли повна схема наміченого процесу вже розроблена, проте ще можна внести необхідні зміни. З іншого боку, дослідження HAZOP може бути застосоване послідовно з різними керуючими словами на кожній стадії проектування і розробки. Воно також може бути виконано на стадії виробництва, однак на цій стадії внесення змін за результатами досліджень може бути більш витратним.

Вхідні дані

Основними вхідними даними дослідження HAZOP є: поточна інформація про системи, що досліджуються, процеси або процедури, а також цілі та функціональні вимоги до проекту. Вхідні дані можуть містити: креслення, перелік вимог, технологічні карти, схеми управління процесом і відповідних логічних зв'язків схеми розміщення обладнання, процедури функціонування та технічного обслуговування, плани дій в аварійних ситуаціях. Якщо HAZOP не пов'язаний з програмним забезпеченням, то вхідними даними можуть бути будь-які документи, що описують функції та елементи досліджуваних систем

або процедур. Наприклад, вхідними даними можуть бути: діаграма організаційної структури і опис відповідальності та обов’язків персоналу, проект договору або процедури.

Процес виконання методу

У процесі дослідження HAZOP розглядають проект і вимоги до процесу, що досліджується, процедури або системи, які підрозділяють їх на частини і проводять аналіз кожної з цих частин, щоб виявити, які відхилення від наміченого виконання можуть статися, що може бути причиною можливих відхилень і яка ймовірність їх наслідків. Цих цілей досягають шляхом систематичного дослідження того, як кожна частина системи, процесу або процедури реагує на зміни основних параметрів при використанні відповідного керуючого слова. Керуючі слова можуть бути підібрані для конкретної системи, процесу або процедури, або можуть бути використані загальні керуючі слова, що охоплюють всі типи відхилень.

У табл. 5.2 наведено приклади часто використовуваних керуючих слів для технічних систем. Подібні керуючі слова, такі, як «занадто рано», «занадто пізно», «більше», «менше», «занадто довго», «занадто швидко», «неправильний напрямок», «неправильна мета», «неправильна дія» можуть бути використані для ідентифікації помилок оператора.

Таблиця 5.2 – Приклад керуючих слів дослідження HAZOP

Терміни	Визначення
Не або ні	Повне заперечення цілей проекту
Більше (вище)	Кількісне збільшення значень параметрів вихідних даних або робочих умов
Менше (нижче)	Кількісне зменшення значень параметрів
Так само, як	Кількісне збільшення (наприклад, додатковий матеріал)
Частина (в суміші)	Кількісне зменшення (наприклад, тільки один або два компоненти)
Заміна/Навпроти	Логічна протилежність (наприклад, протитечія)

Продовження табл. 5.2

Інший	Повне заперечення цілей проекту, результати прямо протилежні (наприклад, оплавлення або недоречний матеріал)
Сумісний	З матеріалом або навколишнім середовищем Фізичні властивості матеріалу або процесу Фізичні умови, такі як температура, швидкість

Керуючі слова застосовуються до таких параметрів: зазначене призначення компонента системи або проекту (наприклад, передача інформації), експлуатаційні аспекти.

Етапи дослідження HAZOP передбачають:

- призначення особи, наділеної необхідною відповідальністю та повноваженнями для проведення дослідження HAZOP і забезпечення будь-яких дій, спрямованих на повне завершення цього процесу;
- визначення цілей і сфери застосування дослідження;
- встановлення набору ключових і керуючих слів для дослідження;
- формування групи HAZOP. В цю групу зазвичай включають експертів з основних та суміжних дисциплін, проектувальників і виробничий персонал, здатних провести відповідну технічну експертизу й оцінити вплив відхилень від наміченого або існуючого проекту. Рекомендується включати в групу персонал, який безпосередньо не залучений до роботи щодо розглянутих проекту, системи, процесу чи процедури;
- визначення необхідної документації.

На нараді група HAZOP проводить такі дії:

- поділяє систему, процес або процедуру на менші елементи, підсистеми, підпроцеси, компоненти для проведення їх аналізу;

➤ погоджує завдання проекту для кожної підсистеми, підпроцесу або компонента, і потім для кожного елемента підсистеми або компонента застосовує керуючі слова, одне за одним, що дозволяє виявити можливі відхилення, які можуть призвести до небажаних результатів;

➤ у разі ідентифікації небажаних результатів погоджує причину і наслідки для кожної події і пропонує способи їх обробки, що спрямовані на запобігання їх повторної появи або пом'якшення можливих наслідків, якщо вони неминучі;

➤ реєструє та ідентифікує протоколи обговорень і запропонованих способів обробки ризику.

Вихідні дані

У процесі HAZOP час обговорення по кожному пункту дослідження має бути зареєстрований.

Записи повинні включати в себе: керуюче слово, що використовується, відхилення, його (їх) можливі причини, запропоновані дії з ідентифікованих проблем і відповідального за ці дії. Для будь-якого відхилення, яке не можна виправити, необхідно оцінити його ризик.

Переваги та недоліки

Дослідження HAZOP має такі переваги:

- метод забезпечує систематичне і повне дослідження системи, процесу або процедури;

- до роботи залучаються експерти з суміжних напрямів діяльності, включаючи фахівців, що мають практичний виробничий досвід роботи, яким, ймовірно, доведеться впроваджувати рекомендації з обробки ризику;

- метод допомагає у виборі рішення і способів обробки ризику;

- метод застосовують до широкого діапазону систем, процесів і процедур;

- метод дозволяє точно розглянути причини і наслідки помилок виконавців.

У рамках процесу HAZOP проходить реєстрація всіх записів, що дозволяє забезпечити об'єктивні свідчення для подальшого аналізу.

Недоліки дослідження HAZOP:

- детальний аналіз може бути тривалим за часом і тому бути дорогим;
- детальний аналіз потребує наявності докладної документації та вимог до систем, процесів або процедур;
- дослідження HAZOP може бути зосереджено на знаходженні детальних рішень, а не на перегляді використаних основних припущень (цей недолік можна пом'якшити поетапним застосуванням методу);
- обговорення може бути зосереджено на окремих проблемах проекту і не торкатися широких або зовнішніх проблем;
- метод обмежений завданнями проекту, сферою та цілями дослідження, визначеними для групи;
- метод заснований на експертних оцінках проектувальників, яким може бути складно встановити недоліки своїх проектів.

Посилання на стандарт

МЕК 61882. Дослідження небезпеки і працездатності (HAZOP). Керівництво з застосування.

Аналіз небезпеки і критичних контрольних точок

Стислий огляд

Метод аналізу небезпеки і критичних контрольних точок (НАССР – *Hazard Analysis and Critical Control Points* іноді називають «Аналіз ризиків і критичних контрольних точок»). Він дозволяє побудувати структуру ідентифікації небезпек і перевірки засобів управління у всіх частинах процесу. Цей метод спрямований на захист від небезпек і забезпечення високої надійності і безпеки продукції. Основною метою НАССР є мінімізація ризику шляхом застосування засобів управління в процесі виробництва продукції, а не тільки при контролі кінцевої продукції.

Сфера застосування

Спочатку метод НАССР був розроблений для забезпечення якості продуктів харчування в космічній галузі. Сьогодні цей метод зазвичай використовують організації харчової промисловості для управління ризиком фізичного, хімічного або біологічного забруднення харчових продуктів. Метод НАССР також використовують при виготовленні фармацевтичних препаратів і медичних пристроїв. Принцип ідентифікації факторів, які можуть вплинути на якість продукції, і використання контрольних точок виробничого процесу, де є необхідний моніторинг критичних параметрів і можливих небезпек, може бути також застосовано в інших технічних системах.

Вхідні дані

Застосування методу НАССР починають зі складання технологічної карти або блок–схеми процесу та збору інформації про небезпеки, які можуть вплинути на якість, безпеку або надійність процесу і кінцевої продукції. Інформація про небезпеки, відповідний ризик і способи їх контролю являє собою вхідні дані НАССР.

Процес виконання методу

Метод НАССР заснований на таких принципах:

- ідентифікації небезпек і відповідних запобіжних дій;
- визначення контрольних точок процесу, в яких можна усунути небезпеку або контролювати їх виникнення (критичні контрольні точки, або НАССР);
- встановлення критичних меж при контролі виникнення небезпек, тобто для кожної критичної контрольної точки необхідно встановити діапазон зміни параметрів;
- моніторингу критичних меж для кожної критичної контрольної точки;
- визначення коригувальних дій, якщо параметри процесу вийшли за встановлені межі;
- встановлення процедур верифікації;

– впровадження процедур управління записами і документацією на кожному етапі процесу.

Вихідні дані

Зареєстровані записи, включаючи карти аналізу небезпек і план НАССР, являють собою вихідні дані НАССР.

До карти аналізу небезпек для кожного етапу процесу мають бути включені:

– небезпеки, які можуть бути новими, контрольованими або зростаючими на певному етапі процесу;

– оцінка значущості ризику даних небезпек (така оцінка ризику заснована на розгляді наслідків та ймовірності небезпечної події і є результатом поєднання отриманого раніше досвіду, отриманих експериментальних даних і даних опублікованих джерел);

– висновок про значущість сукупного ризику;

– можливі запобіжні дії для кожної небезпеки;

– можливість застосування моніторингу або контролю виникнення небезпеки на певному етапі (підтвердження того, що точка є критичною контрольною точкою).

План НАССР містить супровідні процедури, застосування яких забезпечує управління ризиком конкретного проекту, продукції, процесу або процедури. План НАССР передбачає перелік всіх критичних контрольних точок із зазначенням для кожної контрольної точки:

– критичних меж, що допускають проведення запобіжних дій;

– дій щодо виконання моніторингу та безперервного контролю (в тому числі коли, хто і яким способом виконує моніторинг);

– необхідні коригувальні дії при виявленні порушення критичних меж;

– способу верифікації та дій з реєстрації записів.

Переваги та недоліки

Переваги методу:

– метод НАССР – це структурований процес, який забезпечує документовані свідчення якості ідентифікації небезпеки, управління та зниження ризику;

– метод НАССР орієнтований на вирішення практичних питань: як і де в процесі можна попередити появу небезпек і управляти ризиком;

– метод НАССР дозволяє управляти ризиком у процесі виробництва, не покладаючись тільки на контроль готової продукції;

– метод НАССР дає можливість ідентифікувати небезпеки, спричинені діями людини, і містить спосіб управління в момент вчинення помилкової дії або згодом.

Недоліки методу:

– для застосування методу НАССР необхідно, щоб небезпеки були ідентифіковані і визначено відповідний їм ризик. Також повинні бути визначені необхідні засоби управління. У процесі застосування методу НАССР необхідно з'ясувати критичні контрольні точки і контрольовані параметри, що не завжди можливо і часто вимагає застосування інших методів менеджменту ризику;

– вживання заходів тільки при виході контрольованих параметрів за встановлені межі не завжди дає ефективні результати, оскільки не дозволяє врахувати зміни середнього процесу, коли контрольований параметр змінюється поблизу границь.

Посилання на стандарт

ISO 22000 Системи менеджменту безпеки харчових продуктів. Вимоги до всіх організацій в ланцюзі виробництва і споживання харчових продуктів.

Оцінка токсикологічного ризику

Стислий огляд

Оцінку токсикологічного ризику застосовують для визначення схильності рослин, тварин і людей впливу екологічних небезпек. Менеджмент токсикологічного ризику необхідний на кожному етапі прийняття рішень, включаючи порівняльну оцінку та обробку ризику.

Метод оцінки токсикологічного ризику передбачає аналіз небезпек або джерел збитку і їх впливів на цільові групи населення та шляхи експозиції небезпечних впливів на ці групи. Отриману інформацію потім обробляють і отримують вірогідну оцінку ступеня та характеру шкоди.

Сфера застосування

Для оцінки впливу (таких джерел, як хімікати, мікроорганізми та ін.) на рослини, тварин і людей використовують оцінку токсикологічного ризику.

Окремі елементи цього методу, такі, як аналіз шляхів експозиції, в якому досліджують різні способи поширення небезпеки на об'єкт, можуть бути адаптовані та застосовані в різних сферах менеджменту ризику для здоров'я людини і навколишнього середовища, та корисні при ідентифікації методів обробки ризику.

Вхідні дані

Для цього методу необхідні об'єктивні дані про характер, властивості небезпек, уразливих місць цільової групи населення (або популяції) і взаємодії ідентифікованих небезпек. Ці дані зазвичай засновані на лабораторних і епідеміологічних дослідженнях.

Процес виконання методу

Процес включає перераховані нижче етапи:

а) формулювання проблеми, включаючи встановлення сфери застосування оцінки шляхом визначення цільових груп населення і типів небезпек;

б) ідентифікацію небезпек, включаючи ідентифікацію всіх можливих джерел шкоди для цільової групи населення від досліджуваних небезпек. Ідентифікація небезпек зазвичай заснована на знаннях експертів і даних з опублікованих джерел;

в) аналіз небезпек, включаючи дослідження характеру і природи небезпек та їх взаємодії з об'єктом впливу. Наприклад, при дослідженні впливу на людський організм хімічних речовин небезпеки можуть включати в себе гостру і хронічну токсичність, можливість пошкодження ДНК, що спричиняє

онкологічні захворювання, порушення ембріонального розвитку та репродукції людини. Для кожного небезпечного впливу визначають рівень впливу (Вплив), сукупність небезпек, що впливають, та яких зазнає цільова група населення (Дозу), а також, по можливості, механізм цього небезпечного впливу. Необхідно відзначити рівні, на яких немає впливу (NOEL) та є помітний негативний вплив (NOAEL). Ці рівні іноді використовують критерії прийнятності ризику.

Для оцінки експозиції хімічних речовин використовують результати тестування і будують криву Доза-Вплив (рис. 5.1). Дані зазвичай отримують на основі тестів на тваринах або з експериментів на штучно вирощених тканинах або клітинах тварин.

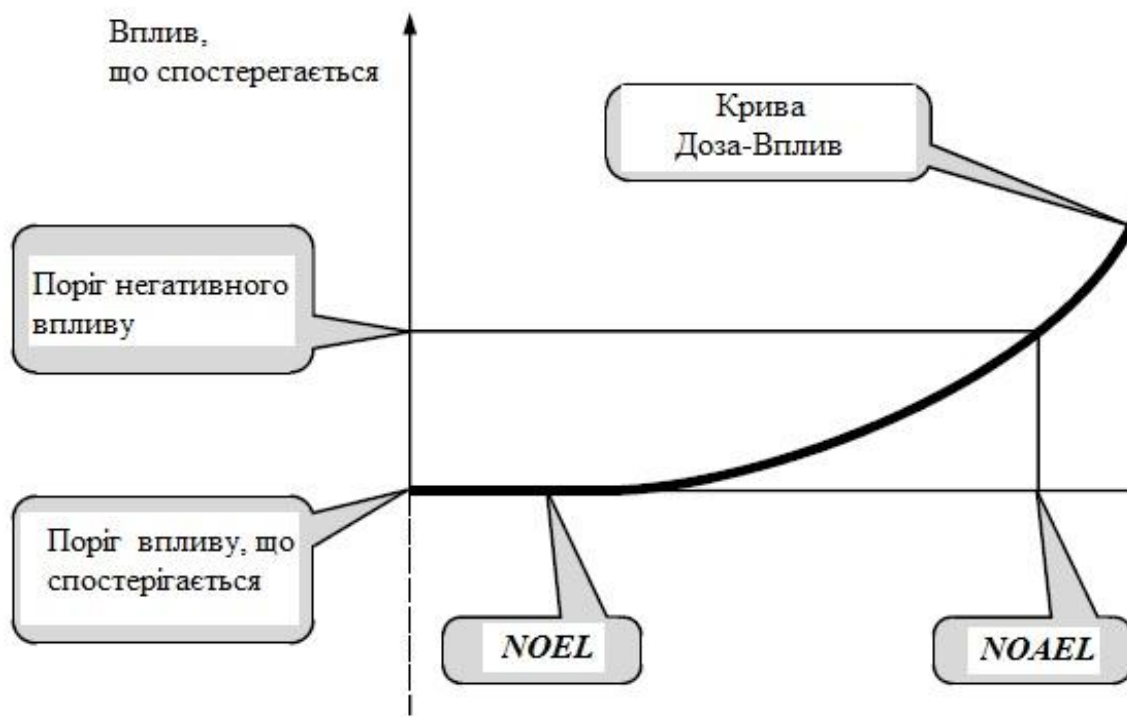


Рисунок 5.1 – Крива Доза-Вплив

Вплив інших небезпек, таких, як вплив мікроорганізмів або зміна біологічного виду, може бути визначено на основі даних спостережень та епідеміологічних досліджень. Після того як характер взаємодії збудників

хвороб або паразитів з об'єктом дослідження визначено, оцінюють ймовірність того, що в результаті схильності конкретного виду небезпеки буде завдано конкретний рівень шкоди;

г) аналіз експозиції, включаючи дослідження того, як небезпечна речовина або її залишки можуть впливати на цільову групу населення і в якій кількості. Цей етап часто містить аналіз шляхів поширення небезпек, бар'єрів і факторів, що перешкоджають та впливають на рівень експозиції. Наприклад, при дослідженні хімічних викидів аналіз експозиції передбачає визначення: наскільки великою є зона розпилення хімічних речовин; яким шляхом викиди можуть відбутися і за яких умов може виникнути прямий вплив на людей і тварин; скільки хімічних речовин осяде на рослини; які шляхи поширення отрутохімікатів, що потрапили в ґрунт; чи можуть ці хімічні речовини накопичуватися в живих організмах і в ґрунтових водах. Аналіз експозиції може містити дослідження паразитів, що потрапляють з інших регіонів, шляхи їх розповсюдження і впливу на об'єкти живої природи;

д) характеристика ризику, що включає збір та узагальнення отриманої інформації на етапах аналізу небезпек і аналізу експозиції, та оцінку ймовірності наслідків у разі спільного впливу небезпек.

У ситуації з великою кількістю небезпек і шляхів їх розповсюдження може бути проведено їх початковий аналіз, а потім – детальний аналіз небезпек та експозиції. Аналіз ризику повинен бути виконаний на основі загальних сценаріїв ризику.

Вихідні дані

Вихідні дані зазвичай характеризують рівень ризику впливу експозиції на цей об'єкт конкретної небезпеки в наявних умовах. Ризик може бути поданий у вигляді кількісної, змішаної або якісної оцінки. Наприклад, ризик онкологічних захворювань часто характеризують ймовірністю того, що людина захворіє протягом зазначеного періоду внаслідок впливу конкретних шкідливих хімічних речовин. Змішаний аналіз може бути використаний для отримання індексу ризику конкретної шкідливої хімічної речовини або шкідливого

мікроорганізму. Якісна оцінка ризику може являти собою належність ризику до одного з рівнів (високого, середнього, низького) або опис ймовірного впливу.

Переваги та недоліки

Перевага цього аналізу полягає в тому, що він забезпечує детальне розуміння проблеми і факторів, що сприяють підвищенню ризику.

Аналіз шляхів поширення дуже корисний для всіх сфер аналізу ризику. Він дозволяє ідентифікувати, як і де можна вдосконалити засоби управління або застосувати нові.

Однак для цього аналізу необхідні достовірні дані, які часто не доступні або мають високий рівень невизначеності. Наприклад, загальні дані про небезпеки, отримані на основі експериментів на тваринах, використовують для побудови кривої Доза–Вплив і екстраполюють для оцінки впливів на людину. Існують множинні моделі такої екстраполяції. Якщо об'єктом є навколишнє середовище, а не люди, і небезпеки не є хімічними, то даних, що відповідають конкретним умовам дослідження, може бути недостатньо.

Структурований аналіз сценаріїв методом «що, якщо?». Метод SWIFT

Стислий огляд

Метод SWIFT (*Structured what-if technique*) спочатку був розроблений як більш простий альтернативі дослідження HAZOP.

Це систематизований метод дослідження сценаріїв, заснований на командній роботі, в якому використовують набір слів або фраз–підказок, що допомагають у процесі наради учасникам групи ідентифікувати небезпечні ситуації і створити сценарій їх розвитку. Ведучий і група, використовуючи стандартні фрази «що, якщо» у поєднанні з підказками, досліджують, як система, елемент виробничого процесу, організація або процедура поводитимуться під впливом небезпечної події. Метод SWIFT зазвичай

застосовують для великих систем з більш високим рівнем деталізації, ніж дозволяє дослідження HAZOP.

Сфера застосування

Метод SWIFT спочатку був розроблений для дослідження небезпек хімічних та нафтохімічних підприємств, пізніше його стали широко застосовувати до систем, їх елементів, процесів, процедур і організацій в цілому. Особливо часто цей метод застосовують для дослідження наслідків змін, а також нових і змінених видів ризику.

Вхідні дані

Досліджувані системи, процедури, елементи, процеси та/або їх зміни необхідно точно визначити до початку дослідження. Слід встановити внутрішні і зовнішні цілі та сфери застосування шляхом проведення опитування й вивчення допоміжних документів, планів і графіків. Зазвичай досліджувані елемент, ситуацію або систему підрозділяють на частини, вузли або ключові компоненти, щоб спростити процес аналізу. Це рідше роблять на етапі визначення об'єктів дослідження при використанні методу HAZOP.

Іншими ключовими вхідними даними є знання експертів і досвід фахівців, що беруть участь у групових дослідженнях, до відбору яких необхідно підходити дуже ретельно. Всі причетні сторони повинні бути представлені по можливості із зазначенням досвіду роботи з аналогічними елементами, системами, їх змінами або ситуаціями.

Процес виконання методу

Процес складається з таких етапів.

а) До початку дослідження ведучий складає список слів або фраз-підказок, який може бути заснований на стандартному наборі слів і фраз або складений самостійно, спрямований на забезпечення всебічного аналізу небезпек або ризику.

б) На початку наради необхідно обговорити та узгодити зовнішні і внутрішні цілі і сфери застосування досліджуваних елемента, системи, їх змін чи ситуації.

в) Далі ведучий пропонує учасникам обговорити:

– відомі небезпеки і ризики;

– попередні досвід та інциденти;

– відомі й існуючі засоби управління і захисні заходи;

– обов'язкові вимоги та обмеження.

г) Обговорення проходить легше, якщо запитання складені з використанням фраз «що, якщо» і слів або об'єктів–підказок. Прикладами фраз «що, якщо» можуть бути такі фрази, як «що станеться, якщо ...», «що трапиться, якщо ...», «міг хтось, чи могло щось ...». Основне завдання наради – стимулювати групу до дослідження можливих сценаріїв небезпечних подій, їх причин, наслідків і впливів.

д) Група дослідження повинна узагальнити отриману інформацію про ризик і розглянути засоби управління.

е) Опис ризику, його причин, наслідків та планованих коштів управління, схвалених групою дослідження, має бути зареєстроване.

ж) Дослідницька група повинна розглянути питання про адекватність та ефективність засобів управління, оцінити ефективність управління ризиком і дати відповідний висновок. Якщо у висновку дана незадовільна оцінка засобів управління і процесу управління ризиком, то група повинна далі більш глибоко розглянути завдання обробки ризику і визначити необхідні засоби управління.

з) У процесі подальшого обговорення необхідно використовувати запитання у формі «що, якщо» для ідентифікації наступних видів ризику.

і) Ведучий повинен використовувати список слів–підказок для управління обговоренням і допомоги у виявленні додаткових проблем і сценаріїв розвитку небезпечної події.

к) Для визначення пріоритетності необхідних дій зазвичай використовують якісний або змішаний методи оцінки ризику. Оцінку ризику

зазвичай проводять з урахуванням існуючих засобів управління та їх ефективності.

Вихідні дані

Вихідні дані включають в себе реєстр ризику і ранжирування за значущістю дії або завдання управління ризиком. Ці завдання можуть стати основою плану обробки ризику.

Переваги та недоліки

Метод SWIFT має такі переваги:

- застосовується до всіх форм елементів, систем, ситуацій, умов, організацій та видів діяльності;

- потребує мінімальної підготовки групи досліджень;

- досить швидко допомагає ідентифікувати основні небезпеки, які стають очевидними в процесі обговорення;

- системний підхід до дослідження дозволяє учасникам побачити реакцію системи на відхилення, не обмежуючись розглядом наслідків відмови компонентів;

- може бути використаний для ідентифікації способів поліпшення процесів і систем та визначення заходів, що приводять до підвищення їх надійності;

- залучення до обговорення осіб, відповідальних за існуючі засоби управління і подальші дії з обробки ризику, допомагає підвищити ефективність роботи групи;

- метод допомагає у створенні реєстру ризику та плану обробки ризику, не потребуючи великих додаткових зусиль;

- на відміну від звичайних методів, коли для оцінки ризику використовують якісні або змішані методи, приділяючи основну увагу застосуванню дії, метод SWIFT може бути використаний для ідентифікації небезпек і ризику, для яких надалі можливе застосування кількісних методів оцінки ризику.

Метод SWIFT має такі недоліки:

- для ефективного застосування цього методу необхідний досвідчений ведучий;
- необхідна ретельна підготовка обговорень, щоб час наради дослідницької групи не було витрачено даремно;
- якщо дослідницька група не має достатнього досвіду або якщо система підказок не є всебічною, то деякі ризики або небезпеки можуть бути пропущені і не ідентифіковані;
- застосування методу на загальному рівні не завжди відображає весь комплекс проблем і може не виявити деталізовані або корельовані причини.

Аналіз сценаріїв

Стислий огляд

Найменування методу «аналіз сценаріїв» дано процесу розробки описових моделей розвитку подій. Метод може бути використаний для ідентифікації ризику шляхом розгляду можливих подій у майбутньому і дослідження їх значущості та наслідків. Набори сценаріїв, що відображають, наприклад, «кращий випадок», «найгірший випадок» і «очікуваний випадок», можуть бути використані для аналізу можливих наслідків і їх ймовірності для кожного сценарію.

Можливості методу аналізу сценаріїв можна проілюструвати, розглядаючи основні зміни за минулі 50 років у технологіях, перевагах споживачів, соціальних відносинах та ін. У процесі аналізу сценаріїв важко прогнозувати ймовірність таких змін у майбутньому, проте можна аналізувати наслідки, допомогти організаціям використовувати переваги і забезпечити стійкість до прогнозованих змін.

Сфера застосування

Аналіз сценаріїв може бути корисний у прийнятті політичних рішень і плануванні майбутніх стратегій, а також при розгляді існуючих видів діяльності.

Цей метод може бути використаний для всіх трьох елементів оцінки ризику. На етапах ідентифікації та аналізу ризику набори сценаріїв, що відображають, наприклад, кращий, гірший і найбільш імовірний випадок, можуть бути використані для встановлення того, що може статися в конкретних обставинах, а також для аналізу потенційних наслідків і їх ймовірності для кожного сценарію.

Метод аналізу сценаріїв може бути використаний для прогнозування можливих загроз і їх розвитку в часі та застосований для всіх типів ризику в короткостроковій і довгостроковій перспективі.

У короткостроковій перспективі за наявності достовірних даних ймовірні сценарії можуть бути екстрапольовані на основі існуючих даних. У довгостроковій перспективі з урахуванням низької достовірності даних аналіз сценаріїв дозволяє визначити загальний характер розвитку подій.

Вхідні дані

Необхідною умовою застосування методу аналізу сценаріїв є наявність групи фахівців, що володіють розумінням характеру змін, що досліджуються (наприклад, можливих досягнень у технологіях).

Ці фахівці повинні бути здатні спрогнозувати ситуацію в майбутньому, не вдаючись до екстраполяції на основі даних минулих подій. Корисним є також використання даних літературних джерел і даних, що належать до змін.

Процес виконання методу

Структура методу аналізу сценаріїв може бути формалізованою або довільною. Після формування групи, встановлення каналів обміну інформацією, визначення досліджуваних проблем та сфери застосування методу необхідно ідентифікувати характер можливих змін. Слід також

дослідити основні тенденції та оцінити ймовірний час змін на основі експертного прогнозування.

Досліджувані зміни можуть включати:

- зовнішні зміни (наприклад, зміни технологій);
- рішення, які необхідно прийняти в найближчому майбутньому і які можуть призвести до різних результатів;
- потреби причетних сторін і можливі зміни;
- зміни в макросередовищі (обов'язкові вимоги, демографія та ін.), деякі з яких неминучі, інші можливі.

Іноді зміни можуть статися внаслідок іншої небезпечної події. Наприклад, зміна клімату призводить до змін споживчого попиту на продукти харчування, що впливає на те, які продукти харчування вигідно експортувати, а які – вирощувати в своєму регіоні.

Потім необхідно скласти перелік локальних факторів і макрофакторів або тенденцій і ранжувати спочатку за значущістю, потім за невизначістю. Особливу увагу слід приділяти факторам, які є найбільш значущими і більш невизначеними.

Ключові фактори або тенденції наносять на карту один навпроти одного, щоб показати і виявити зони розробки сценаріїв. Зазвичай пропонують набір сценаріїв, кожен з яких відповідає ймовірній зміні параметрів. Потім для кожного сценарію складають опис переходу від вихідної ситуації до розглянутого сценарію. Опис може включати ймовірні деталі, які можуть бути дуже корисними для сценарію.

Далі сценарії можуть бути використані для дослідження або оцінки вихідної проблеми. При проведенні досліджень необхідно враховувати всі суттєві, але прогнозовані чинники (наприклад, шаблони, що використовують). Потім потрібно досліджувати виконання політики або діяльності при реалізації цього сценарію й оцінити результати попереднього дослідження сценарію з використанням запитань «що, як що», заснованих на припущеннях моделей.

Після проведення оцінки запитань або припущень щодо кожного сценарію може стати очевидним, що саме необхідно змінити і як це зробити найбільш доцільно і безпечно. Можуть бути також визначені основні індикатори, що вказують на появу можливих змін.

Моніторинг основних індикаторів і вжиті відповідні заходи дозволяють забезпечити можливість внесення змін у заплановані стратегії. Оскільки сценарії охоплюють тільки окремі частини можливого розвитку майбутніх подій, важливо упевнитися, що враховано ймовірності появи конкретних сценаріїв, тобто визначено структуру ризику. Наприклад, якщо використовують сценарії кращого випадку, гіршого випадку і найбільш ймовірного випадку, необхідно зробити декілька спроб для їх класифікації та оцінити ймовірність появи кожного сценарію.

Вихідні дані

Найбільш відповідного сценарію може не бути, однак аналіз дозволяє отримати більш чітке розуміння варіантів розвитку подій і способів зміни дій при зміні індикаторів.

Переваги та недоліки

Аналіз сценаріїв враховує варіанти майбутнього розвитку подій і тому може бути більш кращим при традиційному підході до прогнозування, відповідно до якого на основі сценаріїв проводять оцінку ймовірності за шкалою (висока, середня і низька) на основі наявних даних, припускаючи, що розвиток подій буде відповідати відомим у минулому тенденціям. Це важливо в ситуації, коли недостатньо знань про досліджувану проблему для прогнозування її розвитку або коли небезпека може виникнути у віддаленому майбутньому.

З цією перевагою безпосередньо пов'язаний недолік методу аналізу сценаріїв, який полягає в тому, що в ситуації з високою невизначеністю деякі зі сценаріїв можуть бути нереальними.

Основні труднощі використання методу аналізу сценаріїв пов'язані з наявністю даних і здатністю аналітиків та осіб, що приймають рішення, розробити реальні сценарії, які можна дослідити можливими результатами.

Недолік використання методу аналізу сценаріїв для обґрунтування прийняття рішень полягає в тому, що використані сценарії можуть не мати достовірного обґрунтування; дані можуть бути гіпотетичними, а нереалістичність результатів може бути не виявлена.

Аналіз впливу на бізнес (BIA)

Стислий огляд

Метод аналізу впливу на бізнес BIA (Business Impact Analysis), також відомий як оцінка впливу на бізнес, дозволяє досліджувати ключові види відмов/порушень/руйнувань, які можуть вплинути на ключові види діяльності і процеси організації, а також ідентифікувати і кількісно визначити необхідні можливості для управління організацією в цих умовах. Процес методу BIA забезпечує узгодження і розуміння:

- ідентифікації та критичності ключових бізнес–процесів, функцій, пов'язаних ресурсів та ключових взаємозв'язків, що існують в організації;
- впливу відмов/порушень/руйнувань на можливості організації досягати встановлених критичних цілей бізнесу;
- необхідних можливостей управління впливом відмов/порушень/руйнувань і відновленням нормального перебігу діяльності організації.

Сфера застосування

Метод BIA використовують при визначенні критичності процесів організації, часу їх відновлення (RTO – Recovery Time Objective) і необхідних ресурсів (активи, персонал, навички, технології, виробничі площі та інформація) для забезпечення досягнення встановлених цілей. Крім того, метод BIA допомагає при визначенні взаємозв'язків між процесами, внутрішніми та зовнішніми сторонами і всіма ланцюгами поставок організації.

Вхідні дані

Для застосування методу необхідні:

- група аналізу та розробки плану безперервності бізнесу;
- інформація про цілі, навколишнє середовище, види діяльності та взаємозв'язки організації;
- докладний опис видів діяльності та функціонування організації, що включають процеси, допоміжні ресурси, взаємозв'язки з іншими організаціями, угоди про аутсорсінг, причетні сторони;
- економічні та виробничі наслідки, спричинені порушенням критичних процесів;
- підготовлені анкети;
- список опитуваних осіб у відповідних сферах діяльності організації та/або причетних сторін.

Процес виконання методу

У процесі ВІА зазвичай використовують анкетування, інтерв'ю, структуровані наради або їх комбінацію, що дозволяє досягти розуміння функціонування критичних процесів, впливу порушень цих процесів і необхідного часу відновлення РТО і ресурсів.

Ключові етапи методу ВІА:

- визначення критичності ключових процесів та ключових видів продукції, робіт, послуг організації на основі оцінки для них небезпек, загроз і вразливостей;
- визначення економічних і виробничих наслідків відмов/порушень/руйнувань ідентифікованих критичних процесів за певні періоди часу;
- ідентифікація взаємозв'язків із ключовими внутрішніми і зовнішніми причетними сторонами. На цьому етапі може бути корисним складання карт взаємозв'язків у системі і в ланцюзі постачань;

– визначення наявних необхідних ресурсів для забезпечення безперервності робіт після відмов/порушень/руйнувань на мінімальному допустимому для організації рівні;

– ідентифікація альтернативних способів виконання робіт і процесів, що існують, або запланованих до розробки. Альтернативні способи виконання робіт та процесів можуть бути застосовані в ситуації нестачі або відсутності необхідних ресурсів або можливостей під час відмов/порушень/руйнувань;

– визначення максимально допустимого періоду простою при відмовах/порушеннях/руйнуваннях (MAO – Maximum Acceptable Outage Time) для кожного процесу, заснованого на ідентифікованих наслідках і критичних факторах виконуваних видів діяльності. MAO – це період часу, після закінчення якого існує загроза остаточної втрати життєздатності організації, якщо поставка продукції та/або надання послуг не будуть відновлені;

– визначення цільового часу відновлення (RTO) для будь-якого спеціалізованого обладнання, інформаційних технологій та інших активів організації. RTO являє собою час, запланований для відновлення виробництва продукції та надання послуг після відмов/порушень/руйнування, відновлення діяльності організації і відновлення спеціалізованого обладнання, інформаційних технологій або інших активів;

– встановлення рівня підготовленості критичних процесів для управління в умовах порушень, яке може включати оцінку рівня резервування процесу (наприклад, наявності запасного обладнання) або існування альтернативних постачальників.

Вихідні дані

Вихідними даними є:

– перелік ранжированих за пріоритетами критичних процесів і відповідних взаємозалежностей;

– зареєстровані економічні та виробничі впливи, викликані порушенням критичних процесів;

– допоміжні ресурси, необхідні для ідентифікованих критичних процесів;

– можливі терміни простою та відновлення критичних процесів і взаємопов'язаних інформаційних технологій.

Переваги та недоліки

Перевагами методу ВІА є:

– забезпечення розуміння критичних процесів, яке надає організації можливість досягнення встановлених цілей;

– можливість оцінки необхідних ресурсів;

– можливість перегляду виробничого процесу для підвищення стійкості організації.

Недоліками методу є:

– можлива недостатня компетентність учасників опитування, інтерв'ю або нарад;

– динаміка роботи в групі може впливати на весь аналіз функціонування критичного процесу;

– можливі спрощені або надоптимістичні оцінки вимог до відновлення;

– досягнення адекватного рівня розуміння діяльності організації може бути досить важким.

Аналіз першопричини (RCA, RCFA)

Стислий огляд

Аналіз втрат, що становлять основну частку збитку, спрямований на запобігання їх повторного виникнення, зазвичай називають аналізом першопричини (RCA – Root Cause Analysis), аналізом першопричини відмови (RCFA – Root Cause Failure Analysis) або аналізом втрат. Метод RCA використовують для дослідження втрат внаслідок різних видів відмов, у той час як аналіз втрат застосовують передусім для дослідження фінансових або економічних втрат від зовнішніх факторів або катастроф. Метод RCA спрямований на виявлення первинних причин відмови без розгляду їх зовнішніх проявів. Очевидно, що коригувальні дії не завжди ефективні і часто

потребують їх постійного поліпшення. Метод RCA зазвичай застосовують для оцінки основної складової втрат, однак його можна використовувати для аналізу більш загальних втрат із метою виявлення можливостей постійного поліпшення.

Сфера застосування

Метод RCA має багато напрямів застосування:

- із метою безпеки метод RCA використовують для дослідження нещасних випадків у сфері охорони праці та виробничої безпеки;
- у технологічних системах для аналізу надійності та технічного обслуговування використовують аналіз відмов;
- RCA виробництва застосовують для контролю якості виробничих процесів;
- RCA процесів застосовують для дослідження бізнес–процесів;
- RCA систем, що являє собою комбінацію перерахованих видів RCA, застосовують при аналізі складних систем у системах управління змінами менеджменту ризику і в системному аналізі.

Вхідні дані

Основними вхідними даними методу RCA є всі об'єктивні дані про відмови або втрати. Дані про аналогічні відмови також можуть бути розглянуті в процесі аналізу. Іншими вхідними даними можуть бути дані, отримані при перевірці конкретних гіпотез.

Процес виконання методу

Після прийняття рішення про застосування методу RCA формують групу експертів для проведення аналізу та розробки рекомендацій. Спеціалізація експертів залежить насамперед від цілей аналізу й особливостей відмови.

Методи проведення аналізу можуть істотно відрізнятися, однак основні етапи методу RCA аналогічні і включають:

- формування групи;
- встановлення сфери застосування і цілей методу RCA;
- збір даних та об'єктивних свідчень про відмову або втрати;

- проведення структурованого аналізу для визначення першопричини;
- вироблення рішень і рекомендацій;
- виконання рекомендацій;
- верифікацію позитивного результату від впровадження рекомендацій.

Застосовують такі структуровані методи аналізу:

- метод «5 чому», що полягає в багаторазовому повторенні запитання «чому?», для дослідження п'яти рівнів глибини причини відмови;
- аналіз видів і наслідків відмов;
- аналіз дерева несправностей;
- діаграму Ісікави або «риб'ячий скелет»;
- аналіз Парето;
- складання карти першопричини.

Оцінку причин часто починають із дослідження спочатку очевидних фізичних причин, далі вивчають причини, пов'язані з людським фактором, і вже потім переходять до вивчення прихованих причин управління або основних причин. Для того щоб застосування коригувальних дій було ефективним, залучені сторони повинні мати можливість управляти виявленими в процесі аналізу причинними факторами або усунути їх.

Вихідні дані

Вихідні дані методу RCA включають в себе:

- документацію щодо зібраних даних та об'єктивних свідчень;
- розглянуті гіпотези;
- висновок про найбільш ймовірні першопричини відмов і втрат;
- рекомендовані та коригувальні дії.

Переваги та недоліки

Перевагами методу є можливість:

- залучення до робочої групи технічних експертів;
- використання структурованого аналізу;
- розгляду всіх імовірних гіпотез;

- документування отриманих результатів;
- обов'язкового впровадження заключних рекомендацій.

Недоліки методу RCA:

- відсутня можливість залучення необхідних технічних експертів;
- критичні об'єктивні свідчення можуть бути втрачені в момент відмови або під час прибирання;
- обмеження за часом і ресурсами можуть не дозволити робочій групі провести всебічну оцінку ситуації;
- іноді неможливо впровадити розроблені рекомендації.

Аналіз видів і наслідків відмов, та аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMEA)

Стислий огляд

Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA – Failure Mode Effect Analysis) є методом, що використовується для ідентифікації способів відмови компонентів, систем або процесів, які можуть призвести до невиконання призначеної їх функції.

Метод FMEA допомагає ідентифікувати:

- всі види відмов різних частин і компонентів системи (видами відмов можуть бути приховані відмови, конструктивні відмови, виробничі відмови та ін., які призводять до порушення працездатного стану частин та/або компонентів системи);
- наслідки відмов для системи;
- механізми відмови;
- способи досягнення безвідмовної роботи та/або пом'якшення наслідків для системи.

Розширеною версією методу FMEA є FMESA, що дозволяє оцінити критичність і значущість кожного ідентифікованого виду відмови. Критичність відмови – це сукупність ознак, що характеризують наслідки відмови.

Класифікація відмов з критичності проводиться відповідно до законодавчих та обов'язкових вимог, і таких, що встановлюються пріоритетами організації.

Аналіз критичності зазвичай є якісним або змішаним, але може бути кількісним при використанні показника фактичного відсотка відмов.

Сфера застосування

Залежно від об'єкта дослідження виділяють кілька варіантів методу: FMEA проекту або продукції, FMEA процесу, що застосовується для аналізу виробничих і складальних процесів, FMEA системи, FMEA послуги і FMEA програмного забезпечення.

Метод FMEA/FMECA може бути застосований на стадіях проектування, виробництва та експлуатації виробничої системи.

Однак для підвищення надійності внесення змін на стадії проектування системи є більш ефективним. Методи FMEA і FMECA також можуть бути застосовані до процесів і процедур, наприклад, ці методи застосовують для виявлення можливості медичних помилок і дефектів у процесі технічного обслуговування.

Методи FMEA/FMECA можуть бути використані:

- при виборі з альтернативних варіантів проекту з високою надійністю;
- для дослідження всіх видів відмов систем і процесів та їх впливу на безвідмовність досліджуваного об'єкта;
- для ідентифікації наслідків помилок персоналу (вплив людського фактора);
- при плануванні перевірок (тестів) і технічного обслуговування технічних систем;
- для поліпшення проектів процедур і процесів;
- для отримання якісної або кількісної інформації для інших методів аналізу, таких, як аналіз дерева несправностей.

Результати методів FMEA і FMECA можуть бути використані як якісні та кількісні вхідні дані для інших методів досліджень, таких, як, наприклад, аналіз дерева несправностей.

Вхідні дані

Для виконання методів FMEA і FMECA необхідна детальна інформація про елементи системи, достатня для аналізу способів і шляхів розвитку відмови кожного елемента. Для детального застосування методу FMEA до проекту елемент системи може бути розглянутий на рівні його компонентів, у той час як для FMEA системи в цілому елементи системи можуть бути визначені на укрупненому рівні (у вигляді блоків і підсистем).

Інформація може включати:

- креслення і блок–схеми аналізованої системи та її компонентів або етапи процесу;
- інформацію про функціонування кожного етапу процесу або компонента системи;
- докладний опис екологічних та інших параметрів, які можуть впливати на функціонування системи;
- відомості про результати відмов;
- хронологічні дані про відмови, включаючи доступні дані про інтенсивність відмов.

Процес виконання методу

Процес FMEA включає основні етапи.

1. Визначення сфери застосування і цілей дослідження.
2. Формування робочої групи.
3. Вивчення системи/процесу, для яких застосовують метод FMECA.
4. Розподіл системи на компоненти або етапи;
5. Визначення функції кожного етапу або компонента.
6. Визначення для кожного компонента або етапу:
 - можливих відмов та їх причин;
 - механізмів, що призводять до цих видів відмови;
 - наслідків відмов;
 - рівень безпеки або руйнівності наслідків відмови;

– способи виявлення відмови.

7. Ідентифікація особливостей проекту, що дозволяють компенсувати відмову.

При виконанні методу FMECA робоча група додатково класифікує кожну з ідентифікованих видів відмов відповідно до її критичності.

Існує декілька способів виконання аналізу критичності відмов.

Загальноприйнятий метод включає визначення:

– показника критичності виду відмови;

– рівня ризику;

– рангу пріоритетності ризику.

Модель критичності виду відмови є мірою можливості того, що досліджуваний вид відмови компонента призведе до відмови системи в цілому. Критичність відмови визначають як добуток ймовірності наслідків відмови на інтенсивність виду відмови і на час функціонування системи. Цю формулу часто застосовують до відмов обладнання в ситуації, коли кожен з цих показників може бути визначений кількісно, і види відмови мають однакові наслідки.

Рівень ризику визначають як поєднання наслідків виду відмови та ймовірності цієї відмови, він може бути використаний в ситуації, коли наслідки різних видів відмов різні, його застосовують до систем і процесів, пов'язаних із обладнанням. Рівень ризику може бути поданий у якісному, змішаному або кількісному вигляді.

Ранг пріоритетності ризику (RPN – Risk Priority Number) є змішаною мірою критичності відмови, його розраховують шляхом множення рангу значущості наслідків відмови (зазвичай від 1 до 10) на ймовірність відмови і можливість виявлення проблеми. Якщо відмову важко виявити, то їй зазвичай приділяють більше уваги і надають першочергового значення. Цей метод використовують найчастіше в процесі забезпечення якості.

З моменту ідентифікації видів відмов та механізмів їх виникнення слід визначити та впровадити коригувальні дії для найбільш істотних видів відмов.

Результати виконання методу FMEA повинні бути задокументовані у вигляді звіту, який повинен містити:

- докладний опис системи, що досліджується;
- способи, використані для виконання аналізу;
- припущення, зроблені в процесі виконання аналізу;
- джерела даних;
- отримані результати, включаючи заповнені контрольні листи;
- критичність (якщо потрібно) і методи, використані для її визначення;
- рекомендації для подальших досліджень, зміни проекту або

особливості, які необхідно включити до планів перевірок, випробувань та ін.

Система може бути повторно оцінена в іншому циклі FMEA, після того як всі необхідні дії щодо проведення аналізу будуть завершені.

Вихідні дані

Первинними вихідними даними методу FMEA є перелік видів відмов, механізмів виникнення відмови і його наслідків для кожного компонента системи або етапу процесу (які можуть включати в себе інформацію про ймовірність відмови). До вихідних даних також належить інформація про причини та наслідки відмов для системи в цілому. Вихідні дані методу FMECA містять результати ранжирування значущості відмов на основі оцінення ймовірності відмови системи, рівня ризику виникнення цього виду відмови або комбінації рівня ризику і «можливості виявлення» виду відмови.

Метод FMECA може бути корисний для отримання кількісних вихідних даних при використанні кількісних даних про інтенсивність відмов та їх наслідки.

Переваги та недоліки

Переваги методу FMEA/FMECA:

– метод застосовують до видів відмов, пов'язаних із помилками персоналу, порушенням працездатності обладнання та роботи систем програмного забезпечення і процесів;

– метод дозволяє ідентифікувати види відмов компонентів, причини цих відмов та їх наслідки для системи і подати їх у зручній для користувача формі;

– застосування методу допомагає уникнути дорогих модифікацій обладнання при технічному обслуговуванні за рахунок ідентифікації та усунення проблем на ранніх стадіях етапу проектування;

– метод дозволяє ідентифікувати види відмов в окремій точці і встановити вимоги до резервування та систем безпеки;

– метод дає можливість отримати вхідні дані для розробки програм моніторингу, надаючи інформацію про необхідні об'єкти моніторингу та їх особливості.

Недоліки методу:

– метод FMEA/FMECA може бути використаний тільки для ідентифікації окремих відмов, а не їх поєднання;

– без адекватного контролю і спеціальної спрямованості такі дослідження можуть бути трудомісткими і дорогими;

– застосування методу FMEA/FMECA може бути трудомістким і тривалим для складних багаторівневих систем.

Посилання на стандарти

МЕК 60812 Методи аналізу надійності систем. Метод аналізу видів і наслідків відмов (FMEA)

Аналіз дерева несправностей (FTA)

Стислий огляд

Аналіз дерева несправностей FTA – Fault Tree Analysis – метод ідентифікації та аналізу факторів, які можуть сприяти виникненню небажаної події, що досліджується (так званою кінцевою подією).

За допомогою дедукції фактори, що досліджуються, ідентифікують, вибудовують їх логічно і подають на діаграмі у вигляді дерева, яке відображає ці фактори і їх логічний зв'язок із кінцевою подією. Факторами, зазначеними в дереві несправностей, можуть бути події, пов'язані з відмовами компонентів

комп'ютерного обладнання, помилками людини або іншими подіями, які можуть призвести до небажаного результату (події). Приклад FTA наведено на рис. 5.2.

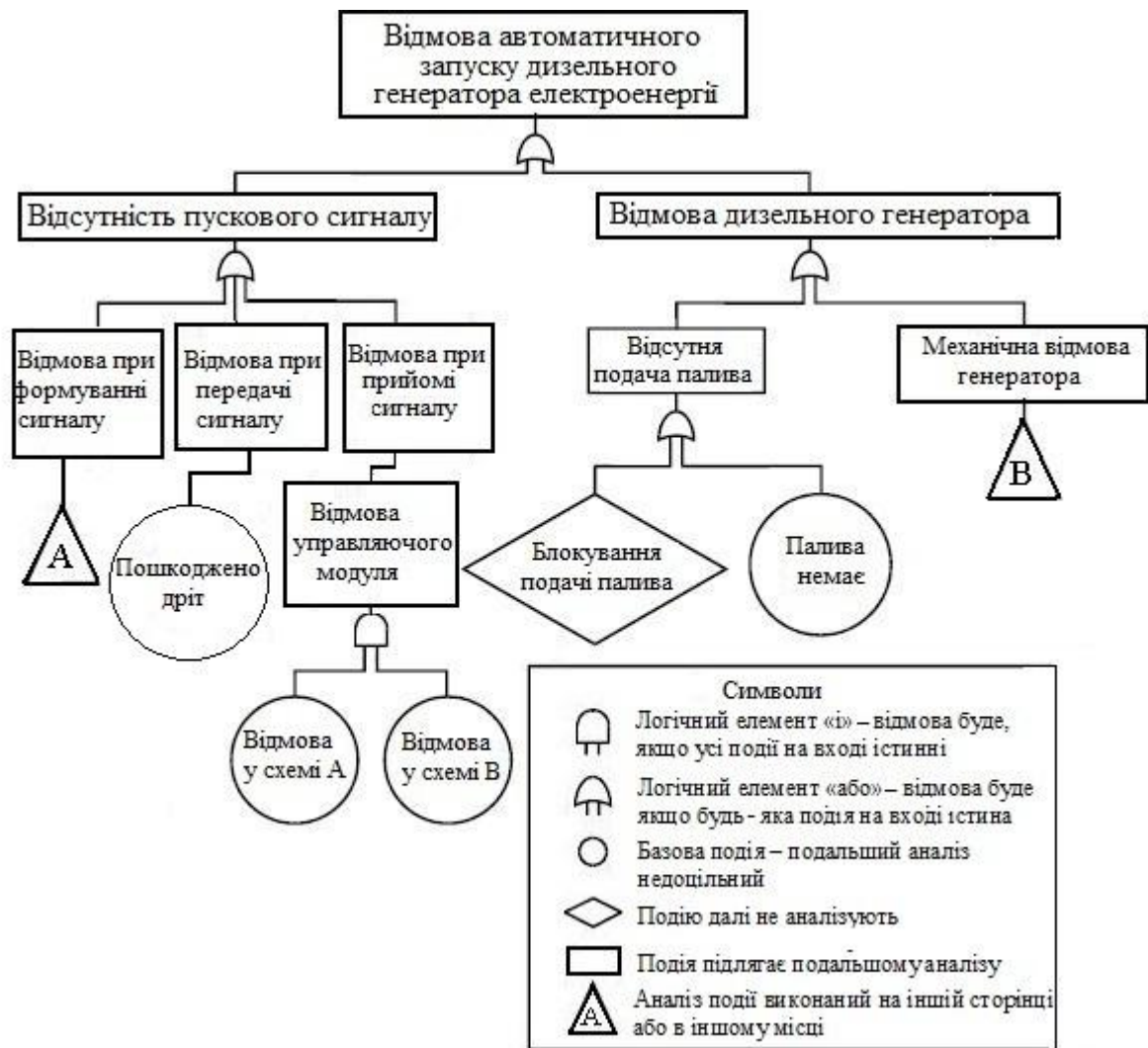


Рисунок 5.2 – Приклад методу FTA

Сфера застосування

Метод дерева несправностей може бути використаний для визначення якісної оцінки при ідентифікації причин відмови та шляхів, що призводять до кінцевої події, і кількісної оцінки при обчисленні ймовірності кінцевої події, якщо відомі значення ймовірностей початкових подій.

Цей метод може бути використаний на стадії проектування системи для ідентифікації причин відмови і, отже, вибору варіанта проекту. Метод ФТА може бути використаний на стадії виробництва для ідентифікації видів основних відмов і відносної значущості шляхів, що призводять до кінцевої події. Дерево несправностей може бути також використано для аналізу поєднання подій, яке призвело до виникнення відмови, що досліджується.

Вхідні дані

Для якісного аналізу необхідне добре знання системи і розуміння причин відмови, а також розуміння того, як система може вийти з ладу. Для аналізу корисним є використання детальних схем дерева несправностей. Для проведення кількісного аналізу необхідні дані про інтенсивність або імовірність відмови всіх основних подій, зазначених у дереві несправностей.

Процес виконання методу

Виділяють такі етапи розробки діаграми дерева несправностей:

– визначення кінцевої події, яку необхідно проаналізувати. Це може бути відмова або більш загальні наслідки відмови. Після того, як наслідки відмови проаналізовано, в дерево несправностей може бути включено частину, що належить до скорочення інтенсивності та наслідків відмови;

– ідентифікацію можливих причин або видів відмов, що призводять до кінцевої події, починаючи з кінцевої події;

– аналіз ідентифікованих видів і причин відмови для визначення того, що конкретно призвело до відмови;

– послідовну ідентифікацію небажаного функціонування системи з переходом на низькі рівні системи, поки подальший аналіз не стане недоцільним. У технічній системі це може бути рівень відмови компонентів. Події та фактори на найнижчому рівні системи, що аналізуються, називають базисними подіями;

– оцінку ймовірності базисних подій (якщо є) і подальший розрахунок ймовірності кінцевої події. Для забезпечення достовірності кількісної оцінки слід показати, що повнота і якість вхідних даних для кожного елемента

достатні для отримання вихідних даних необхідної достовірності. В іншому випадку дерево несправностей є недостатньо достовірним для аналізу ймовірності, але може бути корисним для дослідження причинно–наслідкових зв'язків.

При визначенні кількісної оцінки дерево несправностей може бути спрощено за допомогою бульової алгебри, що дозволяє врахувати дублюючі види відмов.

Крім кількісної оцінки ймовірності кінцевої події метод дозволяє ідентифікувати набір мінімальних перерізів, що приводять до кінцевої події, і розрахувати їх вплив на кінцеву подію.

За винятком простих випадків, для побудови діаграми зазвичай застосовують пакет прикладних програм, що дозволяє проводити розрахунки в ситуаціях, коли відбуваються події, що повторюються в декількох місцях дерева несправностей, і коли необхідно обчислити мінімальні перерізи. Використання програмного забезпечення гарантує послідовність і правильність виконання методу та можливість його верифікації.

Вихідні дані

Вихідними даними аналізу дерева несправностей є:

- наочне подання шляхів виникнення кінцевої події і взаємодіючих шляхів у ситуації, коли одночасно можуть відбутися дві або більше подій;
- набір мінімальних перерізів (виникнення шляхів відмови системи) й оцінка ймовірності відмови системи для кожного перерізу;
- оцінка ймовірності кінцевої події.

Переваги та недоліки

Переваги методу FTA:

- надання точного, систематизованого і гнучкого підходу дозволяє аналізувати різноманітні фактори, включаючи дії персоналу та фізичні явища;
- застосування підходу «знизу уверх» дозволяє розглядати вплив тих відмов, які безпосередньо пов'язані з кінцевою подією;

– застосування особливо є доцільним для аналізу систем, що передбачають підключення великої кількості пристроїв і взаємодії з ними (систем, що мають множинні інтерфейси);

– графічне подання дозволяє спростити розуміння функціонування системи і розглянутих факторів, але оскільки деревоподібні схеми найчастіше достатньо громіздкі, їх обробка може потребувати застосування комп'ютерних програм, що забезпечує можливість розгляду більш складних логічних взаємозв'язків (наприклад, із використанням логічних операцій «І–АБО» і «АБО–І»), але при цьому ускладнює верифікацію дерева несправностей;

– логічний аналіз дерева несправностей і визначення набору мінімальних перерізів корисні при ідентифікації простих шляхів відмови в складних системах, де комбінації подій можуть привести до виникнення кінцевої події.

Недоліки методу:

– невизначеність оцінок ймовірностей базисних подій впливає на оцінку ймовірності виникнення кінцевої події. Це може призвести до високого рівня невизначеності в ситуації, коли ймовірність відмови для кінцевої події точно невідома, але достовірність оцінок істотно вища для добре вивченої системи;

– у деяких ситуаціях початкові події не пов'язані між собою, і часом важко встановити, чи враховані всі важливі шляхи до кінцевої події. Наприклад, недостатнє дослідження всіх джерел займання може призвести до невірної оцінки ризику виникнення пожежі (кінцевої події). У цій ситуації аналіз ймовірності із застосуванням методу FTA неможливий;

– дерево несправностей є статичною моделлю, в якій фактор тимчасової залежності не враховують;

– дерево несправностей може бути застосоване лише до бінарних станів (працездатного / непрацездатного);

– незважаючи на те що помилки людини можуть бути враховані у схемі дерева несправностей на якісному рівні, невідповідність ступеня та якості часто характеризує помилки людини, які в дереві несправностей врахувати достатньо складно;

– дерево несправностей не дозволяє легко врахувати і досліджувати ланцюгові реакції (ефект доміно) й умовні відмови.

Посилання на стандарти

МЕК 61025 Аналіз дерева несправностей (FTA)

Аналіз дерева подій (ETA)

Стислий огляд

Метод ETA – Event Tree Analysis – є графічним методом подання взаємовиключних послідовностей подій, що наступають за появою вихідної події, відповідно до функціонування і нефункціонування систем, розроблених для пом'якшення наслідків небезпечної події (рис. 5.3). Метод ETA може бути застосований для якісної та/або кількісної оцінки.

На рис. 5.3 подано прості розрахунки для типового дерева подій в ситуації, коли гілки дерева подій повністю незалежні.

Послідовність подій легко подати у вигляді дерева подій, і тому за допомогою ETA легко встановити, погіршують або пом'якшують наслідки події, беручи до уваги додаткові системи, функції або бар'єри.

Сфера застосування

Метод ETA може бути використаний для моделювання, обчислення та ранжування (з точки зору ризику) різних сценаріїв інциденту після виникнення початкової події.

Метод ETA може бути застосовано на всіх стадіях життєвого циклу продукції або процесу. Цей метод може бути використано на якісному рівні при мозковому штурмі, визначенні сценаріїв і після – послідовностей подій, які можуть виникнути після початкової події і при визначенні впливу на результат різних видів обробки ризику, бар'єрів або засобів управління, призначених для зниження небажаних наслідків.

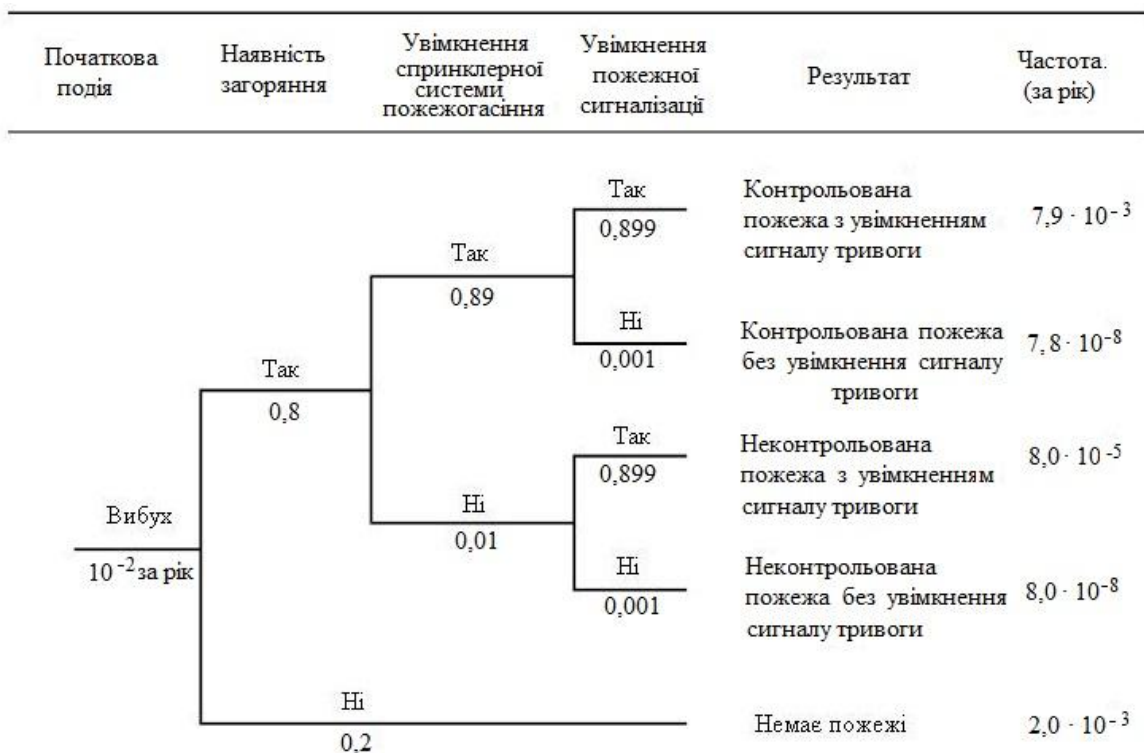


Рисунок 5.3 – Приклад дерева подій

При оцінці допустимих засобів управління найбільш доцільним є застосування методу ЕТА для кількісного аналізу. Найчастіше цей метод застосовують при моделюванні відмов у ситуації використання великої кількості засобів захисту. Метод ЕТА може бути використаний при моделюванні початку події для виявлення можливих втрат і переваг. Однак в обставинах, де необхідно знайти шляхи оптимізації та одержання найбільших переваг, частіше використовують моделювання за допомогою дерева рішень.

Вхідні дані

Вхідні дані включають в себе:

- перелік розглянутих початкових подій;
- інформацію про способи обробки, бар'єри, засоби управління і відповідні імовірності відмови (для кількісного аналізу);
- розуміння процесів нормування початкової відмови.

Процес виконання методу

Побудову дерева подій починають із вибору початкової події. Це може бути інцидент, такий, як вибух пилу, або така подія, як відмова системи енергопостачання. Далі перераховують наявні функції або системи, спрямовані на пом'якшення наслідків. Для кожної функції або системи креслять лінії для відображення її справного стану або відмови. Імовірність відмови може бути оцінена і призначена для кожної такої лінії. Цю умовну ймовірність оцінюють, наприклад, за допомогою експертних оцінок або аналізу дерева несправностей. Таким чином зображують різні шляхи розвитку подій від початкової події.

Слід враховувати, що ймовірності на дереві подій є умовними, наприклад, ймовірність спрацювання розбризкувача системи пожежогасіння, отримана при випробуваннях у нормальних умовах, буде відрізнитися від ймовірності спрацювання цієї системи при загорянні, спричиненому вибухом.

Кожна гілка дерева являє собою ймовірність того, що всі події на цьому шляху відбудуться. Тому ймовірність результату обчислюють як добуток окремих умовних ймовірностей і ймовірності початкової події за умови незалежності подій.

Вихідні дані

Вихідні дані ЕТА включають в себе таке:

- якісний опис можливих проблем у вигляді комбінацій подій, що являють собою різні наслідки початкової події (ранжування наслідків);
- кількісні оцінки частоти або ймовірності появи подій і відносної значущості різних наслідків відмов, а також подій, що їм сприяють;
- перелік рекомендацій щодо зниження ризику;
- кількісні оцінки ефективності впровадження рекомендацій.

Переваги та недоліки

Переваги методу ЕТА:

- за допомогою методу ЕТА легко схематично зобразити сценарії розвитку подій після виникнення початкової події, провести аналіз

працездатного стану або відмови допоміжних систем або функцій, призначених для зниження наслідків відмови, й оцінити їх вплив;

– метод допомагає врахувати фактор часу, побачити взаємозв'язки і ланцюгові реакції, які складно досліджувати за допомогою методу дерева несправностей;

– метод графічно подає послідовність подій, що неможливо зробити за допомогою методу дерева несправностей.

Недоліи методу:

– для використання методу ЕТА складової частини загального процесу оцінки необхідно ідентифікувати всі можливі початкові події. Цього можна досягти за допомогою використання інших методів аналізу (наприклад, HAZOP, PNA), проте завжди залишається ймовірність того, що не враховано деякі важливі початкові події;

– метод дерева подій можна застосовувати тільки для двох станів системи (працездатного стану і відмови), в ньому важко врахувати відстрочене порушення працездатного стану системи або її відновлення;

– кожен шлях реалізації обумовлений поєднанням подій, що відбулися в попередніх точках розгалуження схеми дерева подій. Тому розглядають всі взаємозв'язки щодо можливих шляхів розвитку події. Однак деякі взаємозв'язки, наприклад, загальні компоненти, системи постачання і персонал, можуть бути не враховані при розгляді, що може призвести до надмірно оптимістичної оцінки ризику.

Аналіз причин та наслідків

Загальні положення

Аналіз причин і наслідків є поєднанням методів дерева несправностей і дерева подій.

Цей метод починають із розгляду критичної події та аналізу її наслідків за допомогою застосування поєднання логічних елементів ТАК/НІ. Ці елементи являють собою умови, за яких система, розроблена для зниження наслідків

початкової події, знаходиться в працездатному стані або в стані відмови. Причини умов або відмов аналізують за допомогою методу дерева несправностей.

Сфера застосування

Метод аналізу причин і наслідків спочатку був розроблений як інструмент перевірки надійності систем, критичних для забезпечення безпеки, який використовували для більш повного розуміння відмов системи. Так само, як і метод аналізу дерева несправностей, цей метод використовують для відображення логіки відмови, що приводить до критичної події, однак додатково до функціональних можливостей дерева несправностей цей метод дозволяє провести аналіз послідовності появи відмов. Метод також дозволяє врахувати час запізнювання при аналізі наслідків, що неможливо при використанні методу дерева подій.

Метод використовують для аналізу різних варіантів роботи системи після виникнення критичної події залежно від поведінки її підсистем (наприклад, аварійних систем). Якщо такі варіанти можна охарактеризувати кількісно, то можуть бути оцінені ймовірності можливих наслідків критичної події. Оскільки кожна послідовність у діаграмі причин і наслідків є поєднанням дерев несправностей більш низького рівня, то метод аналізу причин і наслідків може бути використаний як спосіб побудови більш складних дерев несправностей. Діаграми складні в побудові та застосуванні, тому їх доцільно використовувати, коли втрати від наслідків відмов співставлені з витраченими зусиллями.

Вхідні дані

Для застосування методу необхідне розуміння системи, видів і сценаріїв відмов.

Процес виконання методу

На рис. 5.4 наведено концептуальну діаграму типового аналізу причин і наслідків.

Процедура аналізу включає такі етапи:

1. ідентифікацію критичної (або початкової) події (еквівалентної кінцевої події дерева несправностей та початкової події дерева подій);
2. розробку та валідацію дерева несправностей для причини початкової події.
При цьому слід використовувати ті самі символи, що і при аналізі дерева несправностей;
3. визначення порядку розгляду умов відмови. У цьому порядку необхідно дотримуватися логічної послідовності та відповідної часової послідовності, в якій вони виникають.
4. побудову шляхів виникнення наслідків залежно від умов. Ця діаграма подібна дереву подій, проте розгалуження дерева подій доповнюють і зображують у вигляді окремого блоку, в якому вказують умови;
5. якщо відмови для кожного блоку умов незалежні, можливе розрахування ймовірності кожного наслідку. Для цього необхідно оцінити ймовірності кожного виходу умовного блоку (із застосуванням відповідних дерев несправностей).

Ймовірність будь-якої послідовності подій, що призводить до конкретного наслідку, визначають перемноженням ймовірностей кожної послідовності умов, що призводить до розглянутого наслідку. Якщо кілька послідовностей подій призводять до одного наслідку, то ймовірності всіх послідовностей складають. Якщо є залежності між відмовами в аналізованій послідовності (наприклад, порушення енергопостачання може спричинити кілька умов відмови), то умови залежності необхідно визначити до проведення розрахунку.

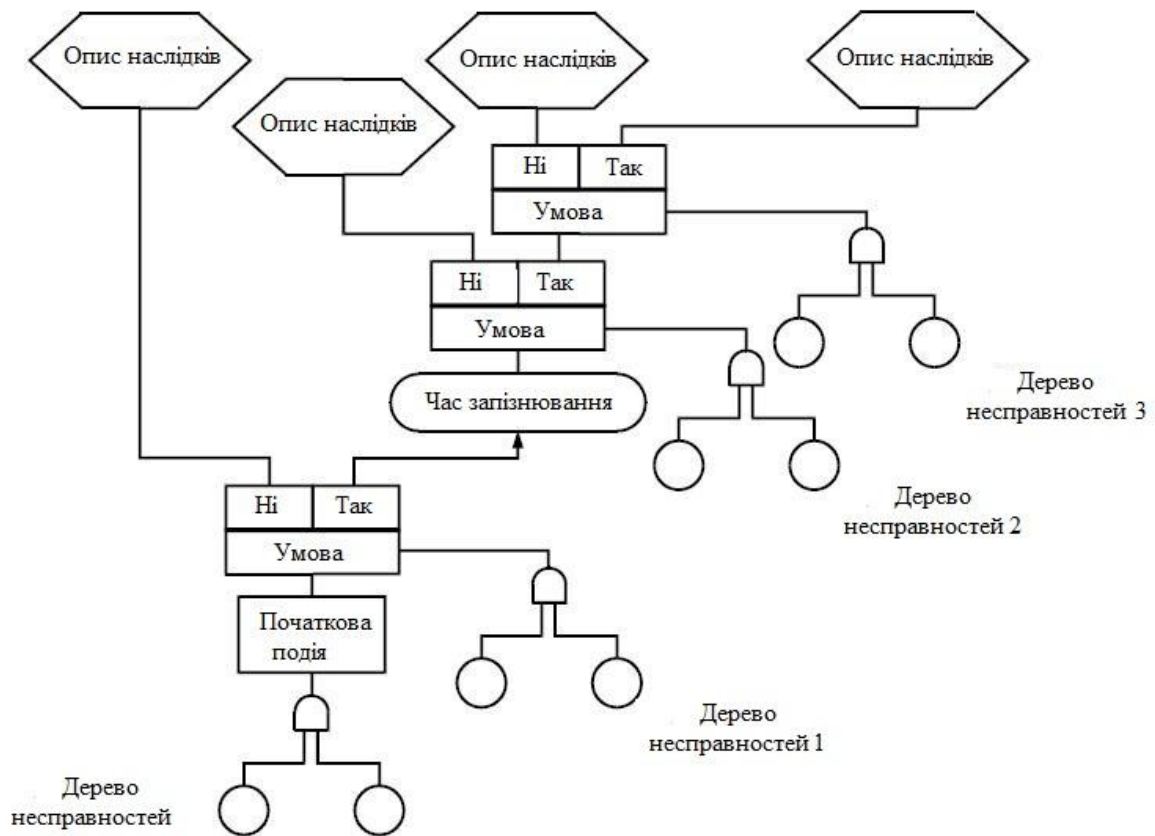


Рисунок 5.4 – Приклад аналізу причин і наслідків

Вихідні дані

Вихідними даними методу аналізу причин і наслідків є схематичне подання відмови системи із зазначенням причин і наслідків та оцінення ймовірності виникнення кожного потенційного наслідку, яка заснована на аналізі ймовірностей виникнення відповідних умов після критичної події.

Переваги та недоліки

Переваги методу аналізу причин і наслідків аналогічні загальним пріоритетам методів дерева подій і дерева несправностей. Крім того, даний метод дозволяє подолати деякі з недоліків цих методів, оскільки дозволяє аналізувати події, що розвиваються протягом тривалого періоду часу. Аналіз причин і наслідків забезпечує всебічне уявлення про систему.

Недоліком методу є його складність порівняно з методами дерева несправностей і дерева подій як при побудові схеми, так і при врахуванні залежностей у випадку кількісного аналізу.

Причинно-наслідковий аналіз (діаграма Ісікави)

Стислий огляд

Причинно-наслідковий аналіз є структурованим методом ідентифікації можливих причин небажаної події чи проблеми. Цей метод дозволяє скомпонувати можливі причини та фактори в узагальнені категорії так, щоб можна було дослідити всі можливі гіпотези. Однак застосування цього методу дозволяє ідентифікувати фактичні причини. Причини можуть бути визначені тільки на основі емпіричних даних або емпіричним шляхом. Інформацію подають у вигляді діаграми «риб'ячого скелета» (метод також називають діаграмою Ісікави) або іноді у вигляді деревоподібної схеми.

Сфера застосування

Причинно-наслідковий аналіз забезпечує структуроване графічне подання причин, що передують висновку. Залежно від об'єкта досліджень наслідок може бути позитивним (мета) або негативним (проблема).

Метод використовують для дослідження всіх можливих сценаріїв і причин, запропонованих групою експертів. Метод дозволяє досягти узгодженої думки щодо найбільш імовірних причин, які можуть бути далі перевірені дослідним шляхом або на основі наявних даних.

Найбільш доцільно застосовувати цей метод на самому початку аналізу, що дозволяє розширити діапазон уявлень про можливі причини, а потім сформулювати гіпотези, які далі слід розглянути відповідно до встановленої процедури.

Побудова причинно-наслідкової діаграми дозволяє:

- ідентифікувати можливі першопричини та/або основні причини для певного висновку, проблеми або умови;
- провести аналіз в ситуації і знайти взаємозв'язок між взаємодіючими факторами, пов'язаними з процесом що досліджується;
- проаналізувати існуючі проблеми для прийняття коригувальних дій.

Перевагами побудови причинно-наслідкової діаграми є:

- сприяння визначенню початкових причин проблеми із застосуванням структурованого підходу;
- сприяння в роботі групі експертів і більш повному використанню знань експертів про продукцію або процеси;
- застосування простого для сприйняття типу діаграми для відображення причинно-наслідкових зв'язків;
- виявлення можливих причин змін у процесі;
- ідентифікація сфер збору даних для подальших досліджень.

Причинно-наслідковий аналіз може бути використаний, як метод виконання аналізу першопричини.

Вхідні дані

Вхідними даними причинно-наслідкового аналізу є результати експертизи, досвід учасників робочої групи, раніше розроблені моделі, використані в попередніх дослідженнях.

Процес виконання методу

Причинно-наслідковий аналіз має бути виконаний групою експертів, які мають знання та досвід з досліджуваної проблеми.

Основними етапами причинно–наслідкового аналізу є:

- встановлення висновку, який необхідно проаналізувати, і розміщення його праворуч у відповідному блоці діаграми. Висновок може бути позитивним (мета) або негативним (проблема) залежно від обставин;
- визначення основних (головних) категорій причин і зазначення їх у відповідних блоках діаграми «риб'ячого скелета». При аналізі систем зазвичай виділяють такі категорії причин: персонал, обладнання, робоче середовище, процеси та ін. Категорії визначають згідно з об'єктом дослідження;
- зазначення можливих причин для кожної основної (головної) категорії на гілках і відгалуженнях для опису взаємозв'язків між ними;
- продовження дослідження шляхом альтернативної постановки запитань «чому?» або «що це викликало?» для встановлення зв'язків між причинами;

– встановлення всіх гілок і відгалужень, спрямоване на перевірку послідовності і повноти виявлених причин, і їх відношення до основного висновку;

– ідентифікація найбільш імовірних причин цього висновку на основі узгодженої думки робочої групи експертів і доступних об'єктивних свідчень.

Результати зазвичай подають у вигляді діаграми «риб'ячого скелета» (діаграма Ісікава) або у вигляді дерева. Діаграма «риб'ячого скелета» структурована шляхом поділу причин на основні (головні) категорії (подані ребрами «риб'ячого скелета») і більш дрібними відгалуженнями, що конкретизують причини цих категорій (рис. 5.5).

Зображення цієї діаграми у вигляді деревоподібної схеми аналогічно дереву несправностей, але зазвичай цю діаграму будують зліва направо, а не зверху вниз. Однак при застосуванні цієї діаграми буває важко уявити результат у кількісному вираженні й оцінити ймовірність основної події, оскільки причини більшою мірою розуміють як можливі фактори, які можуть викликати подію, що розглядається, а не відмови з відомою ймовірністю виникнення.

Причинно-наслідкову діаграму зазвичай застосовують для визначення якісних оцінок. Можна припустити, що ймовірність виникнення проблеми становить 1, і розподілити ймовірності за причинами, що узагальнюються, потім за більш дрібними причинами, ґрунтуючись на ступені довіри чи значущості. Однак найчастіше між факторами, які можуть викликати подію, існує взаємозв'язок, що сприяє виникненню необхідності обробки результату більш складним способом, що робить кількісну оцінку недостовірною.

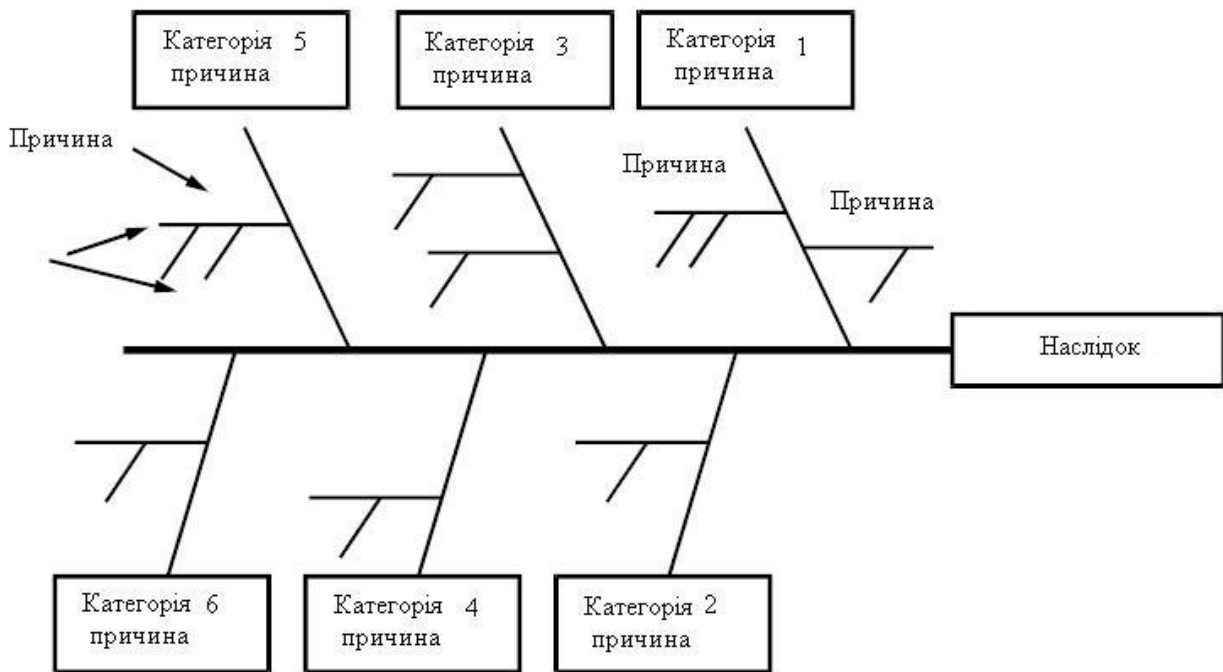


Рисунок 5.5 – Приклад діаграми Ісікава, або «риб'ячого скелета»

Вихідні дані

Вихідними даними причинно-наслідкового аналізу є діаграми у вигляді «риб'ячого скелета» або деревоподібної схеми, які показують можливі причини події, що досліджується (рис. 5.6). Отримані дані необхідно перевірити теоретично й експериментально, перш ніж будуть запропоновані подальші рекомендації.

Переваги та недоліки

Перевагами методу є:

- залучення компетентних експертів до роботи групи;
- застосування структурованого аналізу;
- розгляд усіх ймовірних припущень і гіпотез;
- графічне відображення результатів у простій для сприйняття формі;
- визначення сфер, в яких потрібні додаткові дані;
- можливість встановлення факторів, які можуть викликати події, що розглядаються як для сприятливих, так і для небажаних результатів.

Позитивний погляд на проблему може стимулювати більшу відповідальність і залучення учасників.

Метод має такі недоліки:

- група експертів може не мати необхідної компетентності;
- для розробки рекомендацій метод необхідно застосовувати тільки як частину аналізу першопричини;
- метод призначений для проведення мозкового штурму, а не самостійного аналізу;
- поділ причинних факторів на основні категорії на початку аналізу означає, що взаємозв'язки між категоріями причин можуть бути не розглянуті належно, наприклад, відмова обладнання, спричинена помилкою оператора, або помилки оператора через недоліки конструкції системи.

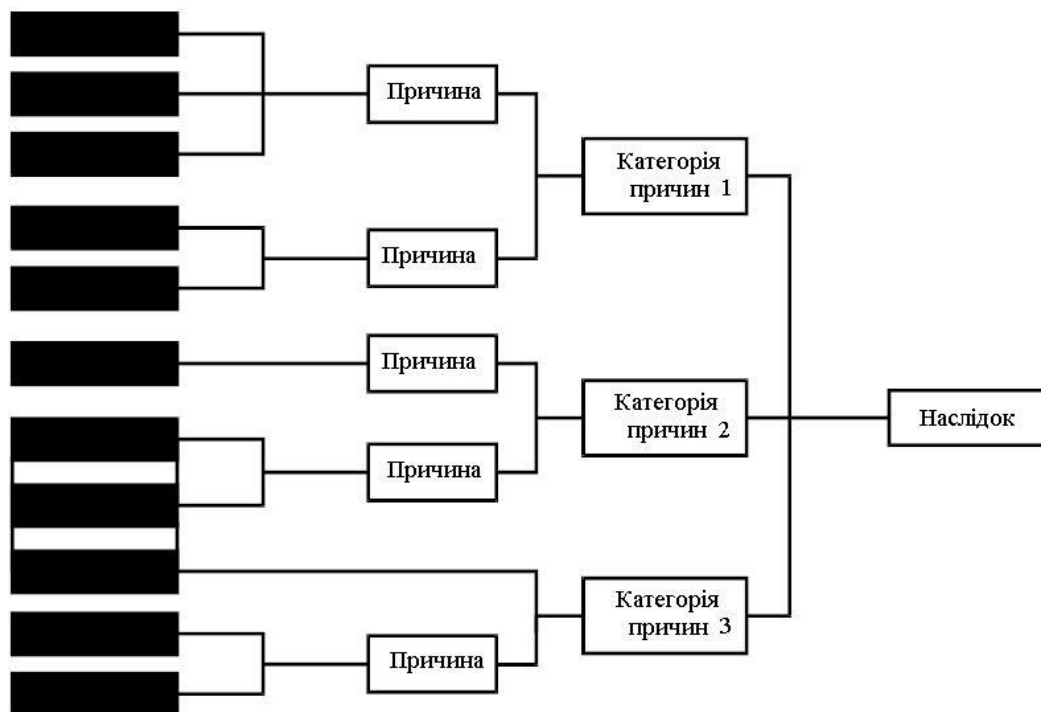


Рисунок 5.6 – Приклад подання причинно–наслідкового аналізу у вигляді дерева

Аналіз рівнів захисту (LOPA)

Стислий огляд

Метод LOPA – Layers of Protection Analysis – метод змішаної оцінки ризику, пов'язаного з небажаною подією або сценарієм. Метод спрямований на аналіз достатності заходів з управління або зниження ризику.

Метод LOPA заснований на виборі пар причин і наслідків та ідентифікації рівнів захисту, які можуть запобігти причині, що призводить до небажаного наслідку. Для визначення адекватності заходів зниження ризику до допустимого рівня необхідно провести розрахунок наслідків.

Сфера застосування

Метод LOPA може бути використаний як якісний метод дослідження рівнів захисту між небезпекою або причинними подією і результатом. Зазвичай змішаний підхід застосовують для досягнення більшої точності після HAZOP або PNA.

Метод LOPA забезпечує основу для визначення вимог до незалежних рівнів захисту (IPL – Independent Protection Layers) і рівнів повноти безпеки (рівні SIL – Safety Integrity Levels) для автоматизованих систем, як встановлено в серії стандартів МЕК 61508 та 61511, а також при визначенні вимог до рівнів повноти безпеки SIL для автоматизованих систем безпеки. Метод LOPA може бути корисний для ефективного розподілу ресурсів, спрямованих на зниження ризику, шляхом застосування аналізу зниження ризику при впровадженні кожного рівня захисту.

Вхідні дані

Вхідними даними методу LOPA є:

- основна інформація про ризик, включаючи небезпеки, причини і наслідки, аналогічно вхідним даним методу PNA;
- інформація про фактичні і планові засоби управління;
- частота причинних подій, оцінки імовірності відмови рівнів захисту, оцінки наслідків і допустимого ризику;

– частота ініціюючих причин, оцінки ймовірності відмови рівнів захисту, оцінки наслідків і допустимого ризику.

Процес виконання методу

Метод LOPA зазвичай виконує група експертів із застосуванням такої процедури:

– ідентифікації початкових причин виникнення небажаного результату і збору даних про їх частоту та наслідки;

– вибору однієї пари причина–наслідок;

– ідентифікації рівнів захисту, що запобігають причині, яка призводить до небажаного наслідку, та аналізу їх ефективності;

– ідентифікації незалежних рівнів захисту (IPL) (не всі рівні захисту є незалежними);

– оцінки ймовірності відмови кожного IPL;

– дослідження частоти початкових причин спільно з вірогідністю відмови кожного IPL і ймовірностями реалізації всіх умовних параметрів (прикладом умовного параметра є присутність або відсутність людини в зоні небезпечного впливу) для визначення частоти виникнення небажаного наслідку. При дослідженні враховують порядок значень частот і ймовірностей;

– порівняння розрахункового рівня ризику з допустимим для визначення необхідності у подальшому захисті.

Незалежний рівень захисту IPL – система пристроїв або дій, здатних попередити реалізацію сценарію, який призводить до небажаного наслідку, і забезпечити незалежність причин подій чи рівнів захисту, пов'язаних зі сценарієм. Незалежними рівнями захисту IPLs є:

– конструктивні особливості проекту;

– фізичні пристрої захисту;

– системи блокування і відключення;

– аварійна сигналізація і можливості ручного втручання оператора;

– фізичний захист при реалізації події;

– системи аварійного реагування (процедури і перевірки, які не належать до IPLs).

Вихідні дані

Вихідними даними методу є рекомендації щодо подальшого застосування засобів управління та їх ефективності для зниження ризику. Метод LOPA є одним із методів, що використовується при оцінці SIL для систем безпеки й автоматизованих систем.

Переваги та недоліки

Переваги методу LOPA:

– метод потребує для застосування меншого часу і ресурсів, ніж метод аналізу дерева несправностей, або повної кількісної оцінки ризику і є більш точним, ніж якісний метод експертних оцінок;

– метод LOPA допомагає ідентифікувати найбільш критичні рівні захисту і забезпечити їх ресурсами;

– цей метод допомагає ідентифікувати операції, системи та процеси з недостатнім рівнем захисних заходів;

– метод спрямований на найбільш серйозні небажані наслідки.

Недоліки методу:

– метод LOPA дозволяє розглядати одну пару причина-наслідок і один відповідний сценарій при одноразовому до нього зверненні. Цей метод не охоплює складні взаємодії між ризиками або засобами управління;

– кількісна оцінка ризику не завжди може бути отримана для загальних видів відмов;

– метод LOPA не застосовується до складних сценаріїв у ситуаціях з великою кількістю пар причин–наслідків або з наслідками, що зачіпають різні причетні сторони.

Посилання на стандарти

МЕК 61508 (всі частини) Функціональна безпека систем електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою ^[22].

МЕК 61511 Безпека функціональна. Система безпеки, що забезпечується приладами для сектора обробної галузі промисловості^[23].

Стандарт IEC 61508

Функціональна безпека електричних, електронних і програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою "(Functional Safety of Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety Related Systems).

Стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission) IEC 61508 – «Функціональна безпека електричних, електронних і програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою» – це міжнародний стандарт, розроблений для визначення систем безпеки (Safety Related Systems – SRS) загального вигляду.

Стандарт може використовуватися для будь-яких галузей промисловості, де є необхідність у застосування програмованих систем безпеки. Дата офіційного затвердження стандарту – 2000 рік. У цілому стандарт досить складний для сприйняття не тільки через свій величезний обсяг (понад 400 сторінок густого тексту двома мовами – англійською і французькою), але й надзвичайно ускладнену і заплутану термінологію. Стандарт визначає концепцію Моделі життєвого циклу системи безпеки, аналогічну ISA 84.01–96 (рис. 5.7–5.9). Загальна схема моделі життєвого циклу, яку відтворює і структура самого стандарту IEC 61508, наведена на рис. 5.7. Модель життєвого циклу системи встановлює, що рівень допуску системи не обмежується початковим рівнем допуску, до якого входять пристрої, включаючи датчики і виконавчі механізми.

Рівень допуску системи так само, як і рівень допуску людини, повинен визначатися та підтверджуватися для всіх стадій і етапів на всьому життєвому шляху:

22. IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

23. IEC 61511 Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector

- зародження ідеї;
- попереднього обстеження й оцінки;
- проектування;
- експлуатації;
- випробування, перевірки і техобслуговування.

Стандарт є безпекою від «неприпустимого ризику». Іншими словами, абсолютної безпеки досягти неможливо, можна тільки знизити ризик до допустимого рівня. Стандарт визначає чотири рівні інтегральної безпеки (Safety Integrity Level – SIL) залежно від конкретної імовірності відмови виконання необхідної функції (Probability of Failure on Demand – PFD).

Рівні безпечного допуску SIL за стандартом IEC 61508:

- 4 – захист від загальної катастрофи;
- 3 – захист обслуговуючого персоналу і населення;
- 2 – захист від травматизму;
- 1 – захист устаткування та продукції.

Модель життєвого циклу електричної, електронної і програмованої електронної системи безпеки (E / E / PES) наведено на рис. 5.7.

При цьому необхідно розуміти, що, наприклад, прийняття рівня допуску SIL1 означає, що рівень небезпеки процесу та обмеження на економічні втрати при відмові системи захисту низькі настільки, що системі дозволено 10 % відмов виконання функцій захисту. Відповідно, 90 %-ва надійність означатиме, що з кожних десяти випадків перевищення, наприклад, рівня в ємності, в одному випадку з цих десяти відбудеться переповнення ємності. Фактор зниження ризику також потребує правильної інтерпретації. Наприклад, збільшення фактора зниження ризику до 100 і більше років при рівні допуску SIL2 зовсім не означає, що ця конкретна система здатна пропрацювати без небезпечних відмов і помилкових спрацьовувань сотню років. Це значення означає, що із сотні одночасно працюючих систем одна система протягом одного року призведе процес до небезпечної відмови.

Зрештою, завдання рівня допуску SIL ґрунтується на необхідній величині зниження ризику, яка визначається під час аналізу небезпеки процесу.

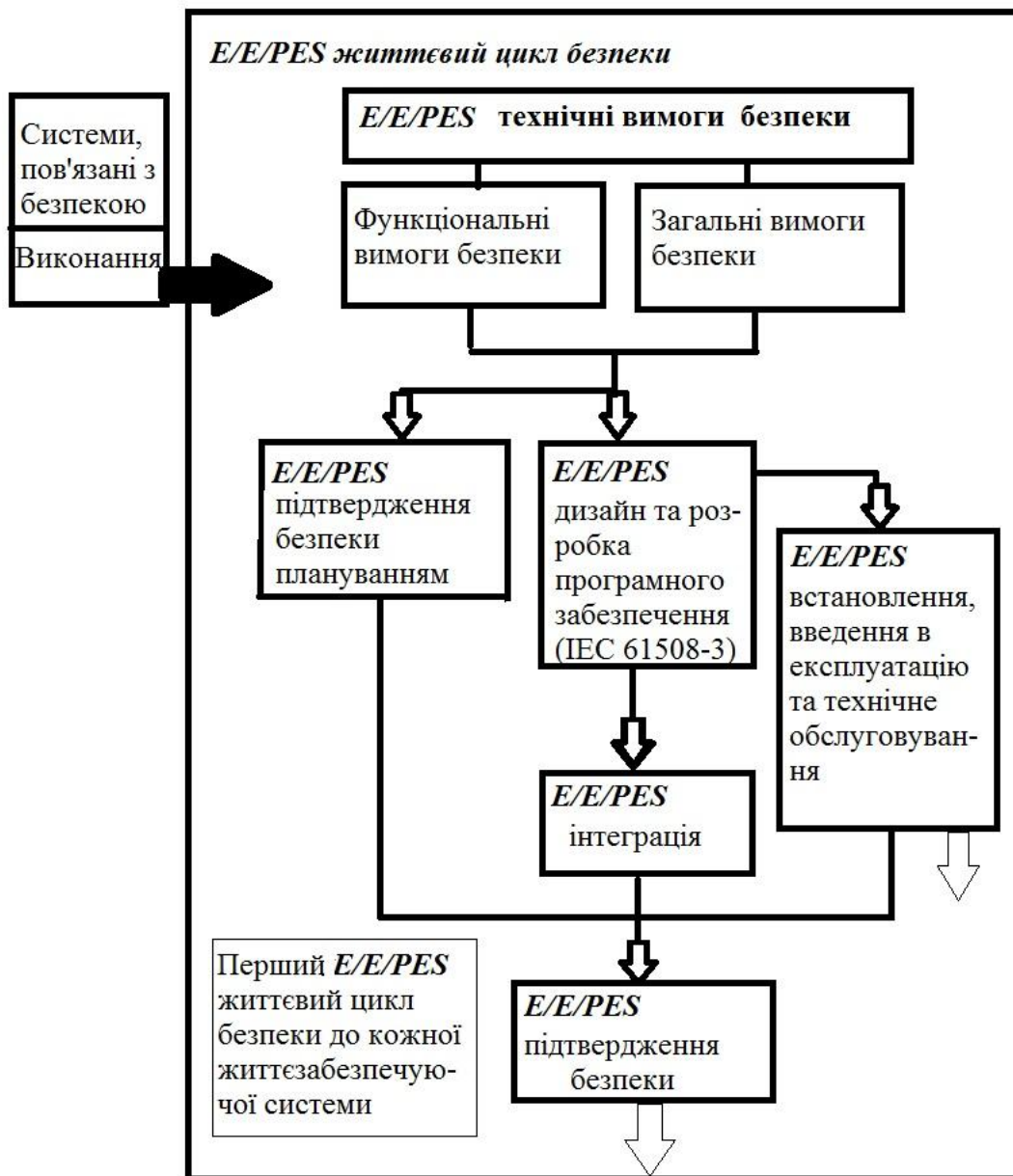


Рисунок 5.7 – Модель життєвого циклу програмного забезпечення

Звичайно, кожне підприємство має право самостійно приймати рішення і встановлювати свої вимоги до систем безпеки на основі власної технічної політики. Однак сучасні стандарти безпеки встановлюють і вимагають від підприємств відповідності розпорядженням, виробленим на основі досвіду

експлуатації та аналізу причин аварій великої кількості вибухопожежонебезпечних виробництв. Це означає, що в будь-якому випадку вибір рівня



Рисунок 5.8 – Взаємодія моделей життєвого циклу електричної, електронної і програмованої електронної системи безпеки (Е / Е / PES) та програмного забезпечення

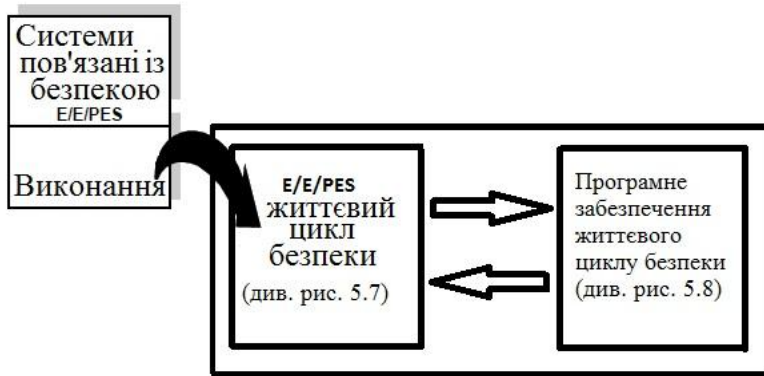


Рисунок 5.9 – Взаємодія моделей життєвого циклу системи безпеки (Е / Е / PES) і програмного забезпечення

інтегральної безпеки і відповідної йому системи захисту повинен бути ретельно проаналізований, обґрунтований і точно задокументований. Діаграма ризиків і рівні допуску стандарту ІЕС 61508 наведені на рис. 5.10.

Параметри ризику

1 НАСЛІДКИ АВАРІЇ

C1 – незначні травми;
 C2 – серйозні травми однієї або кількох людей, смерть однієї людини;
 C3 – смерть кількох людей;
 C4 – катастрофічні наслідки, великі людські жертви

2 ЧАСТОТА І ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ У НЕБЕЗПЕЧНІЙ ЗОНІ

F1 – від рідкісного до відносно частого;
 F2 – часте або постійне

3 МОЖЛИВІСТЬ УНИКНУТИ НЕБЕЗПЕКИ

P1 – можливість при певних обставинах;
 P2 – неможливо

4 ІМОВІРНІСТЬ НЕБАЖНОЇ ПОДІЇ

W1 – вкрай низька;
 W2 – низька;
 W3 – висока

Діаграма ризиків за стандартом ІЕС 61508

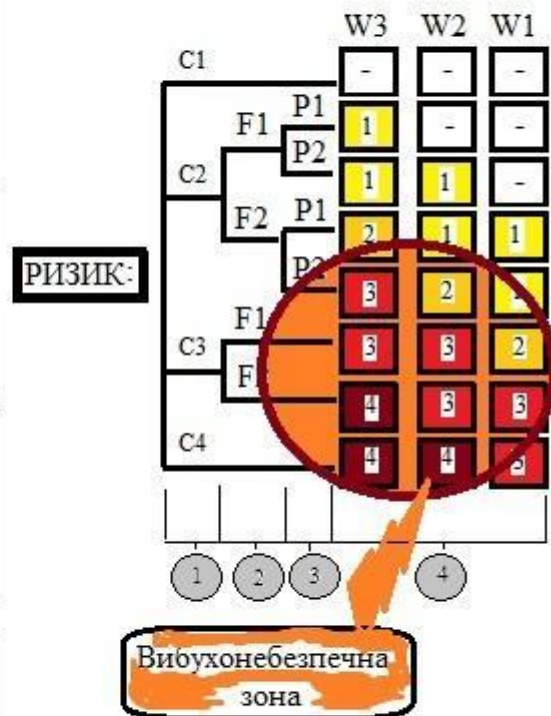


Рисунок 5.10 – Діаграма ризиків і рівні допуску стандарту ІЕС 61508

Стандарт містить вимоги до професійної підготовки та кваліфікації фахівців, що визначають рівень вимог до систем безпеки для конкретного процесу. На відміну від усіх попередніх стандартів безпеки, стандарт ІЕС 61508 передбачає безпосередню участь технологічного персоналу в забезпеченні функцій безпеки. Разом з тим у стандарті є застереження, що конкретні вимоги до технологічного та обслуговуючого персоналу повинні встановлюватися в галузевих стандартах (і в стандартах підприємства), які повинні розроблятися з урахуванням загальної методології безпеки, що визначається цим стандартом.

У найзагальнішому вигляді стандарт ІЕС 61508 визначає таке:

1) модель розвитку системи безпеки;

2) два підходи до систем безпеки:

– забезпечення захисту і безперервності контролю за середньою частотою небезпечних відмов;

– забезпечення захисту і контролю за середньою імовірністю небезпечної відмови протягом зумовленого інтервалу часу;

3) концепцію безпечного допуску;

4) чотири рівні безпечного допуску (SIL).

Структура і параметри ризику стандарту IEC 61508 запозичені з німецького стандарту DIN 19250. При цьому структури діаграм параметрів ризику для DIN і IEC повністю збігаються. Параметри ризику за стандартом IEC 61508 наведено на рис. 5.10:

Травматизм

C1 – незначні травми;

C2 – серйозні травми однієї або кількох людей, смерть однієї людини;

C3 – смерть кількох людей;

C4 – катастрофічні наслідки, великі людські втрати.

Тривалість перебування в небезпечній зоні

F1 – від рідкісного до відносно частого;

F2 – часте або постійне.

Запобігання небезпеки

P1 – можливо при певних обставинах;

P2 – неможливо.

Імовірність небажаної події

W1 – вкрай низька;

W2 – низька;

W3 – висока.

Стандарт IEC 61511 Функціональна безпека. Система безпеки приладів для переробного сектора промисловості.

Стандарт IEC 61511 Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – це міжнародний стандарт, розроблений для спільного використання з IEC 61508, який визначає загальні вимоги безпеки. В 2004 р. МЕК прийняла стандарт безпеки технологічних процесів IEC 61511.

Стандарт IEC 61508 спочатку призначався для виробників і постачальників устаткування. Стандарт IEC 61511 призначений для проєктувальників систем безпеки, фахівців з їх інтегрування в процес розробників і користувачів систем управління виробничими і технологічними процесами.

Стандарту IEC 61511 мають відповідати системи безпеки, призначені для захисту технологічних процесів у нафтовій, газовій, хімічній, нафтохімічній та інших галузях промисловості. Сенсори, логічні пристрої та виконавчі елементи стандартом IEC 61511 визначено як складові елементи системи безпеки. Стандарт також розглядає інтерфейси з іншими рівнями контролю та управління на відповідність загальним вимогам безпеки виробництва і навіть людської спільноти (рис. 5.11).

Аналогічно стандарту IEC 61508 стандарт IEC 61511 визначає дві основні концепції, що є в основі його практичного застосування:

- 1) життєвий цикл системи безпеки;
- 2) інтегральний рівень безпеки.

Концепція рівнів захисту згідно з IEC 61511

Стандарт охоплює повний життєвий цикл системи:

- 1) проєктування;
- 2) складання;
- 3) впровадження;
4. експлуатацію;
- 5) обслуговування;
- 6) модифікацію;

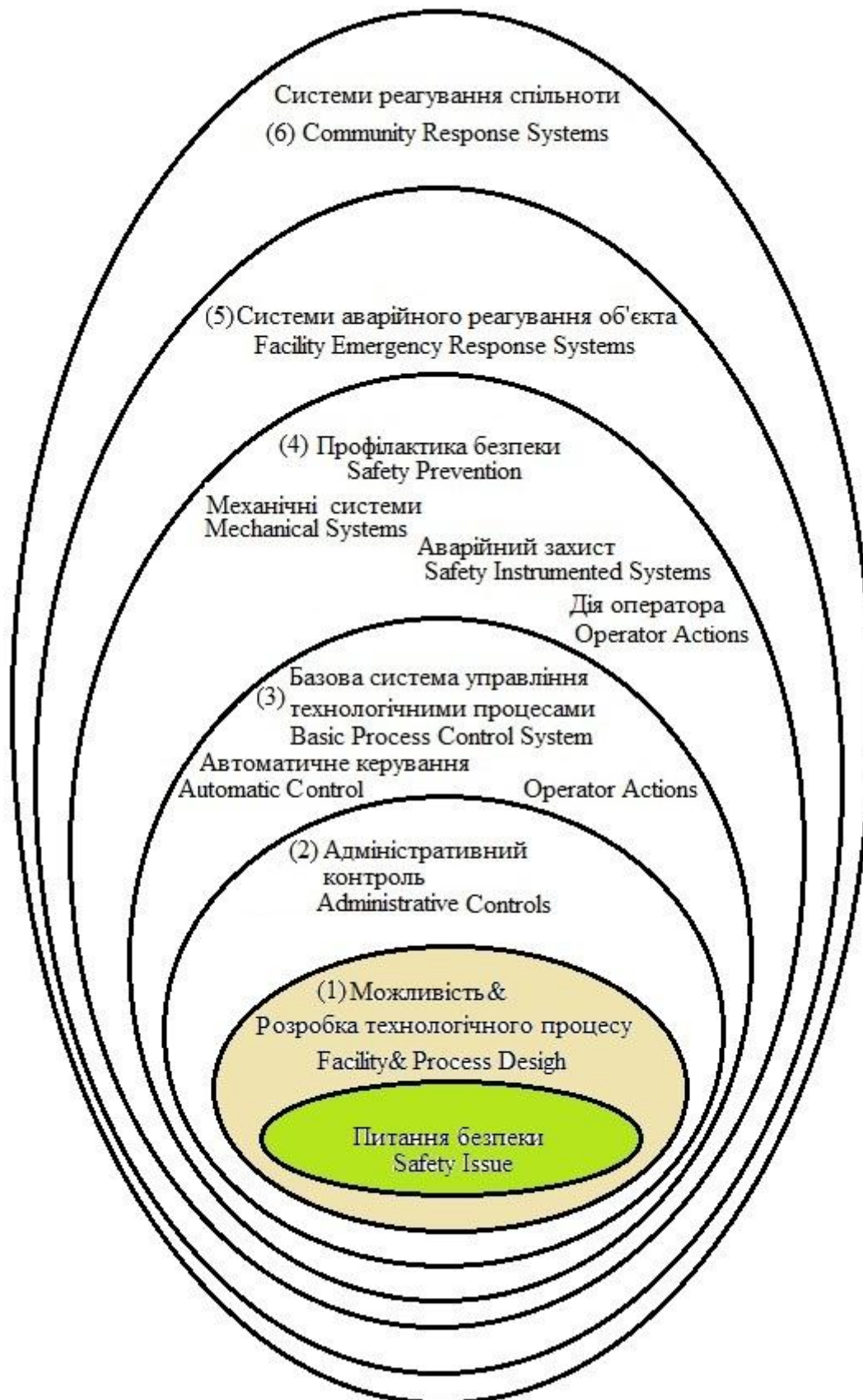


Рисунок 5.11 – Рівні контролю та управління на відповідність загальним вимогам безпеки виробництва (людської спільноти)

7. списання системи.

При розгляді життєвого циклу системи:

- кількісно оцінюються ризики технологічного процесу;
- визначаються вимоги до системи безпеки, що включає сенсори і виконавчі елементи;
- розглядаються та проектуються рівні управління і захисту;
- визначається архітектура системи безпеки, що забезпечує захист від ризиків процесу.

Так само, як і стандарт IEC 61508, стандарт IEC 61511 має 4 рівні інтегрального допуску. Але на відміну від стандарту загального призначення IEC 61508, стандарт IEC 61511 не рекомендує розглядати катастрофічні процеси, що відповідають найвищому рівню вимог SIL4 як сфері застосування програмованих електронних систем.

Ідентифікація інтегрального рівня безпеки SIL

Рівень допуску системи безпеки може розглядатися як статистичне подання відповідності системи заданому інтегральному рівню безпеки. При цьому необхідно чітко розуміти, що ці вимоги ставляться передусім до кожної окремої функції, що включає в себе і сенсори, і логічні пристрої, і виконавчі елементи. Некоректно стверджувати, що окрема одиниця обладнання має якийсь власний інтегральний рівень безпеки.

Деякий компонент обладнання системи може бути схвалений щодо застосування за певним рівнем SIL, але наявність сертифіката становить лише незначну частину загальних зусиль з безпеки, оскільки на відповідність необхідному рівню повинні бути перевірені значення ймовірностей відмови всіх комплексних критичних функцій у конкретному додатку. І тільки потім можуть бути визначені значення інтегральних показників надійності всього програмно–технічного комплексу системи. Система тільки тоді здатна досягти необхідного рівня інтегральної безпеки, коли весь технологічний цикл було розглянуто на відповідність цьому рівню.

Необхідно впевнитися і закріпити документально таке:

- архітектура системи відповідає специфікації;
- всі компоненти системи знаходяться на своїх місцях і правильно працюють;
- функції системи реалізовані відповідно до Технічного завдання;
- документацію розроблено відповідно до проекту.

Тільки в такому випадку може з'явитися впевненість, що SIL дійсно є інтегральним показником створеної системи і враховує всі життєво необхідні фактори:

- рівень допуску та окремих пристроїв і системи в цілому;
- опис та ідентифікацію можливих відмов і відмов спільного походження;
- процедури попередніх і періодичних випробувань;
- вимоги до експлуатації;
- метрологічне забезпечення;
- діагностику та технічне обслуговування;
- навчання та кваліфікацію персоналу.

Аналіз дерева рішень

Стислий огляд

Метод аналізу дерева рішень дозволяє послідовно подати альтернативні варіанти рішень з їх вихідними даними і відповідною невизначеністю. Як і при виконанні аналізу дерева подій, побудову слід починати з початкової події або рішення, що прийнято. Далі необхідно побудувати шляхи розвитку подій, визначити результати, що можуть бути отримані при реалізації подій, і різні рішення, які можуть бути прийняті.

Сфера застосування

Метод дерева рішень зазвичай застосовують в управлінні ризиком проектних рішень та в інших випадках, коли необхідно вибрати найкращий

спосіб дій у ситуації невизначеності. Графічне подання може бути обґрунтуванням прийнятих рішень.

Вхідні дані

Вхідними даними є план проекту із зазначенням пунктів, за якими необхідно прийняти рішення, інформація про можливі результати прийнятих рішень і події, що впливають на ці рішення.

Процес виконання методу

Побудову дерева рішень починають із початкового рішення, наприклад, рішення про відновлення проекту А або проекту В. Оскільки можлива реалізація двох гіпотетичних проектів, то далі можуть відбутися відповідні події і можуть бути прийняті різні рішення. Цей процес подають у формі дерева за аналогією з деревом подій. Імовірність подій може бути оцінена разом з оцінкою витрат та/або ефективності остаточного результату обраного шляху розвитку подій.

Інформація щодо найкращого шляху прийняття рішень має логічну форму, отже, можливий розрахунок найбільшого середнього значення, розрахованого як добуток всіх умовних ймовірностей на цьому шляху прийняття рішень на значення отриманого результату.

Вихідні дані

Вихідними даними методу є:

- логічний аналіз ризику, що відображає різні варіанти можливих рішень;
- очікуване значення ризику для кожного можливого шляху рішень.

Переваги та недоліки

Переваги методу:

- метод забезпечує точне графічне подання всіх деталей вирішення проблеми;
- метод дозволяє розрахувати кращі шляхи вирішення проблеми.

Недоліки методу такі:

– великі дерева рішень занадто складні для обміну інформацією із зацікавленими сторонами;

– застосування діаграми дерева рішень може призвести до зайвого спрощення ситуації.

Аналіз впливу людського фактора (HRA)

Стислий огляд

Метод HRA – Human Reliability Assessment – застосовують для оцінки впливу дій людини, в тому числі помилок оператора, на роботу системи.

У багатьох процесах існує можливість помилки оператора, особливо якщо у нього недостатньо часу для прийняття рішень. Імовірність того, що події розвиватимуться так, що призведуть до серйозних проблем, повинна бути малою. Проте в деяких випадках дія оператора може бути єдиним захистом, що запобігає катастрофічним наслідкам відмови.

Значущість оцінки дій оператора підтверджується подіями, в яких критичні помилки оператора сприяли катастрофічному розвитку подій. Ці події показують неприйнятність оцінок ризику, які враховують лише технічні та програмні засоби системи. Вони показують небезпеку ігнорування помилок оператора. Більш того, оцінка дій оператора дозволяє виявити помилки, які можуть негативно впливати на продуктивність, і визначити способи усунення цих помилок та інших відмов (технічних і програмних засобів).

Сфера застосування

Метод HRA може бути використаний в якісному, а також у кількісному вигляді. Якісна оцінка дій оператора може бути використана для ідентифікації його можливих помилок і їх причин, що дозволяє знизити ймовірність таких помилок. Крім того, метод HRA може бути використаний для отримання кількісних даних про відмови, пов'язані з помилками оператора, для застосування FTA або інших методів.

Вхідні дані

Вхідними даними методу HRA є:

– інформація для визначення завдань, що виконуються операторами;

- дані про типові помилки, що зустрічаються на практиці, і їх причини;
- експертні оцінки помилок оператора (людини) та їх кількісне вираження.

Процес виконання методу

Процес HRA включає такі етапи:

- постановку завдання. Визначення типів дій оператора (людини), які повинні бути досліджені й оцінені;
- аналіз завдання. Визначення способів виконання завдання і допоміжних засобів, необхідних для його виконання;
- аналіз помилки оператора. Визначення відмов, що виникають у процесі виконання завдання, можливих помилок оператора і способів їх усунення;
- подання. Визначення того, як ці помилки при виконанні завдання в поєднанні з іншими подіями, пов'язаними з устаткуванням, програмним забезпеченням і іншими факторами, можуть бути використані для розрахунку ймовірності відмови системи в цілому;
- попередню перевірку. Визначення помилок або завдань, що потребують детальної кількісної оцінки;
- кількісну оцінку. Визначення ймовірності помилок оператора і відмов при виконанні завдання;
- оцінку впливу. Визначення значущості помилок або завдань, тобто помилок і завдань, які більшою мірою впливають на забезпечення надійності або прийняттого рівня ризику;
- скорочення помилок. Визначення способів скорочення кількісних помилок оператора;
- документування. Визначення інформації та деталей аналізу HRA, які повинні бути зареєстровані.

На практиці процес HRA найчастіше виконують поетапно, хоча іноді деякі його частини (наприклад, аналіз завдань та ідентифікацію помилок) проводять паралельно.

Вихідні дані

Вихідними даними методу є:

- перелік помилок, які можуть відбутися, і методи їх скорочення (переважно через модернізацію системи);
- види помилок, причини і наслідки типових помилок;
- якісна чи кількісна оцінка ризику розглянутих помилок.

Переваги та недоліки

Переваги методу HRA:

- метод HRA забезпечує формалізований спосіб дослідження помилок оператора при оцінці ризику для систем, в яких персонал відіграє важливу роль;
- формалізоване дослідження видів помилок оператора і способів їх усунення, дозволяє зменшити ймовірність відмов, спричинених цими помилками.

Недоліки методу такі:

- складність і різноманіття способів поведінки операторів створює значні труднощі при визначенні простих видів відмови та оцінки їх ймовірності;
- неможливо описати багато дій операторів за допомогою понять «працездатний» і «непрацездатний» стан. Метод HRA важко застосувати в ситуації з частковими відмовами або відмовами через прийняття невідповідних рішень (приклад на рис. 5.12).

Аналіз «краватка-метелик»

Стислий огляд

Аналіз «краватка–метелик» є схематичним способом опису та аналізу шляху розвитку небезпечної події від причин до наслідків. Цей метод поєднує дослідження причин події за допомогою дерева несправностей і аналіз наслідків за допомогою дерева подій. Однак основну увагу методу «краватка–метелик» сфокусовано на бар'єрах між причинами і небезпечними подіями, небезпечними подіями та наслідками. Діаграми «краватка–метелик» можуть

бути побудовані на основі виявлених несправностей і дерев подій, але частіше їх будують безпосередньо в процесі проведення мозкового штурму.

Сфера застосування

Аналіз «краватка–метелик» використовують для дослідження ризику на основі демонстрації діапазону можливих причин і наслідків. Метод необхідно застосовувати в ситуації, коли складно провести повний аналіз дерева несправностей, або коли дослідження більшою мірою спрямоване на створення

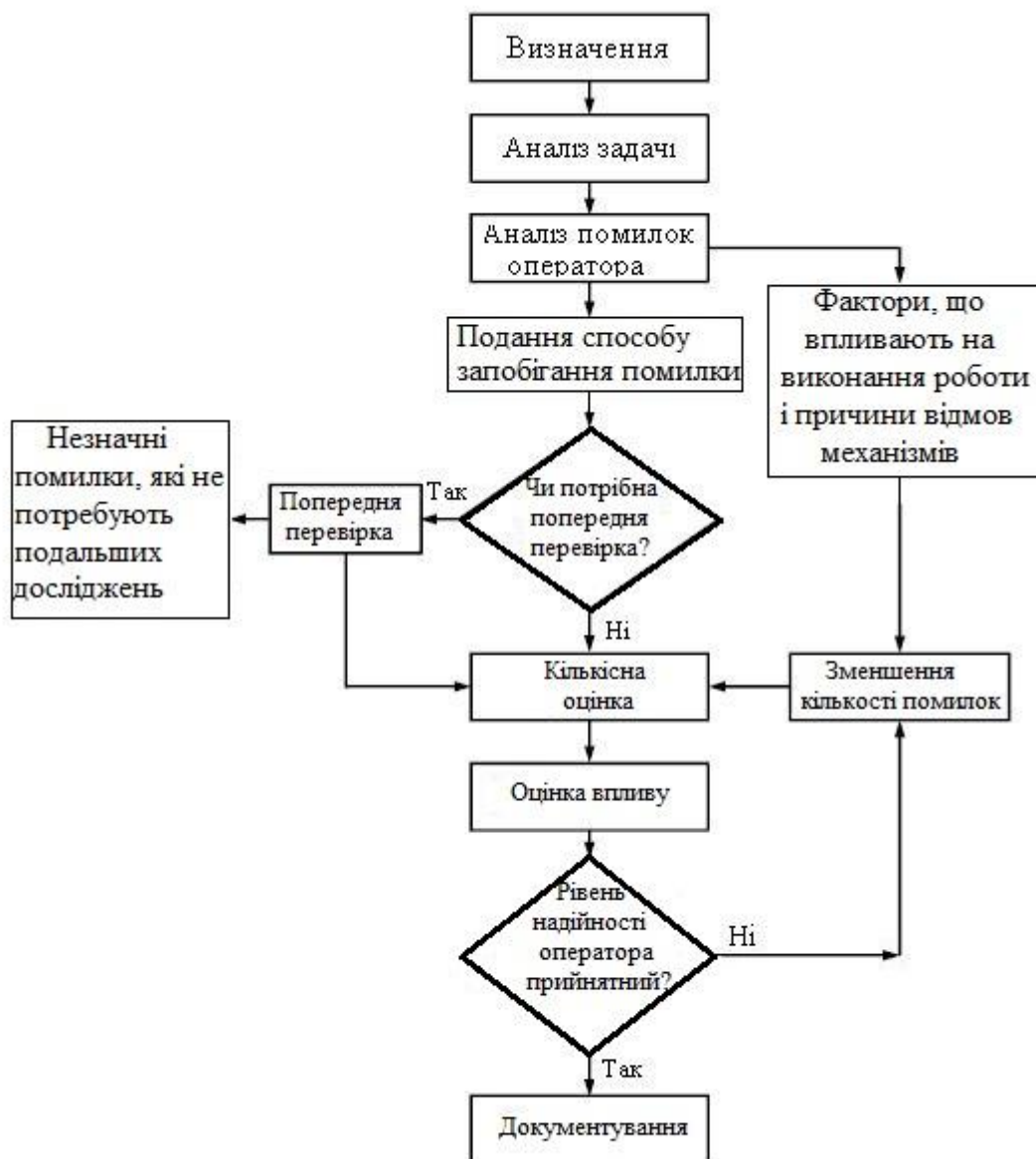


Рисунок 5.12 – Приклад аналізу впливу людського фактора

бар'єрів або засобів управління для кожного шляху відмови. Метод може бути корисний у ситуації, коли існують точно встановлені незалежні шляхи, що призводять до відмови. Аналіз «краватка-метелик» часто значно простіший для розуміння, ніж аналіз дерева подій або дерева несправностей, і, отже, він може бути корисний для обміну інформацією при використанні більш складних методів.

Вхідні дані

Вхідними даними методу є інформація про причини та наслідки небезпечних подій, ризиків, бар'єрів та засоби управління, які можуть їм запобігти, пом'якшити або стимулювати.

Процес виконання методу

Аналіз «краватка-метелик» слід будувати згідно з такими процедурами.

1. Визначення небезпечної події, обраної для аналізу, і відображення її центрального вузла «краватки-метелика».

2. Складання переліку причин події за допомогою дослідження джерел ризику (або безпеки).

3. Ідентифікація механізму розвитку безпеки до критичної події.

4. Проведення лінії, яка відокремлює причину від події, що дозволяє сформулювати лівий бік метелика. Додатково можуть бути ідентифіковані і включені в діаграму фактори, які можуть призвести до ескалації небезпечної події та її наслідків;

5. Нанесення поперек лінії вертикальних перешкод, відповідних бар'єрам, які запобігають небажаним наслідкам. Якщо визначено фактори, які можуть спричинити ескалацію небезпечної події, то додатково можуть бути подані бар'єри, що відвертають подібну ескалацію. Цей підхід може бути використаний для позитивних наслідків, коли перепони відображають засоби управління, що стимулюють появу і розвиток події.

6. Ідентифікація в правому боці метелика різних наслідків небезпечної події і проведення ліній, що з'єднують центральну подію з кожним можливим наслідком.

7. Зображення бар'єрів перешкод у напрямку до наслідку. Цей підхід може бути використаний для позитивних наслідків, коли перепони відображають засоби управління, що забезпечують появу сприятливих наслідків.

8. Відображення під діаграмою «краватка-метелик» допоміжних функцій управління, що належать до засобів управління (таких, як навчання і перевірка), і поєднання їх із відповідним засобом управління.

У діаграмі «краватка-метелик» можуть бути застосовані деякі види кількісної оцінки, наприклад, у ситуації, коли незалежні шляхи і відома ймовірність конкретних наслідків або результатів (рис. 5.13). Подібна кількісна оцінка необхідна для забезпечення ефективності управління. Однак потрібно враховувати, що в багатьох ситуаціях шляхи та бар'єри взаємозалежні, і засоби управління можуть бути пов'язані з обраним методом оцінки, отже, ефективність управління є невизначеною. Кількісну оцінку для аналізу «краватка–метелик» часто виконують за допомогою методів FTA і ETA.

Вихідні дані

Вихідними даними методу є проста діаграма, що показує основні шляхи небезпечних подій і встановлені бар'єри, спрямовані на запобігання або пом'якшення небажаних наслідків та/або посилення і прискорення очікуваних наслідків.

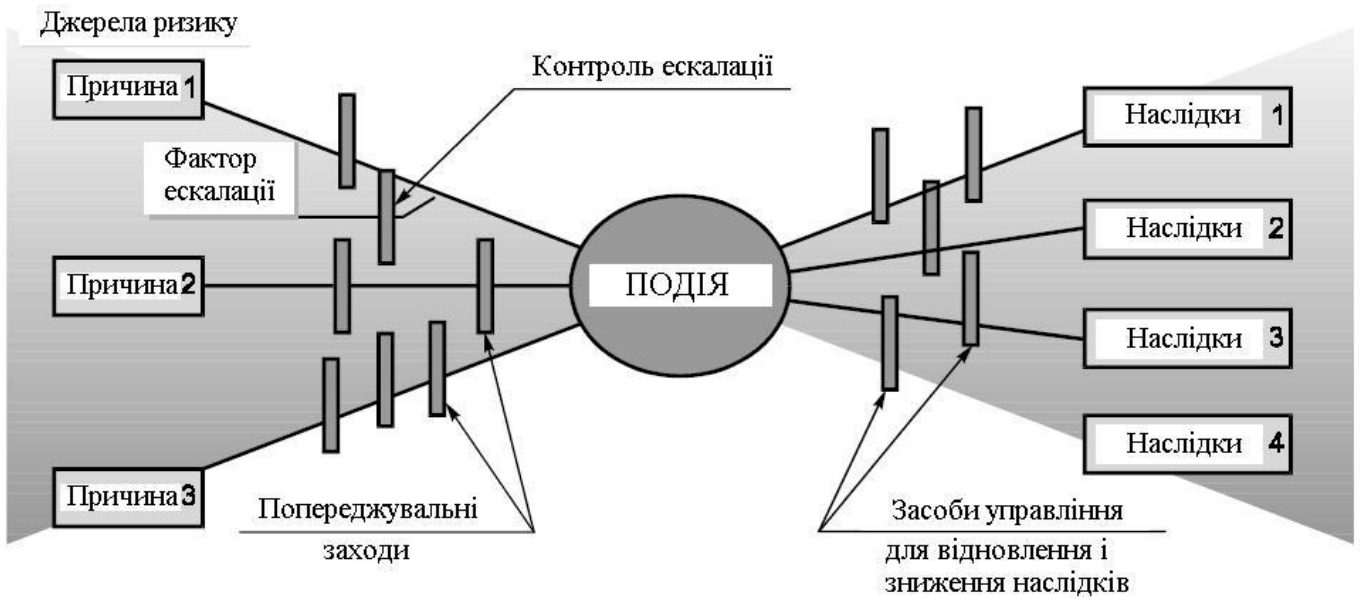


Рисунок 5.13 – Приклад діаграми «краватка–метелик» для небажаних наслідків
Переваги та недоліки

Переваги методу аналізу «краватка-метелик»:

- метод забезпечує наочне, просте і зрозуміле графічне подання проблеми;
- метод орієнтований на засоби управління, спрямовані на попередження та/або зменшення наслідків небезпечних подій, і оцінку їх ефективності;
- метод може бути застосований щодо сприятливих наслідків;
- застосування методу не потребує залучення висококваліфікованих експертів.

Недоліки методу такі:

- метод не дозволяє відображати сукупності причин, що виникають одночасно і спричиняють наслідки (випадок, коли в дереві несправностей, що відбиває лівий бік діаграми, знаходиться логічний елемент «І»);
- метод може подати складні ситуації в надмірно спрощеному вигляді, особливо при застосуванні кількісної оцінки.

Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM)

Стислий огляд

Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM), є методом визначення політики проведення технічного обслуговування, спрямованої на попередження відмов і способів її впровадження для досягнення необхідного рівня безпеки, експлуатаційної готовності та економічності функціонування для всіх типів устаткування.

Метод RCM широко й успішно застосовують у різних галузях промисловості. Метод RCM забезпечує прийняття рішень щодо встановлення ефективних вимог до технічного обслуговування обладнання відповідно до вимог безпеки та експлуатації обладнання, а також економічних наслідків ідентифікованих відмов і механізмів, що призводять до відмови. Результатом застосування методу є рішення про виконання завдань технічного обслуговування або інших дій, таких, як внесення функціональних змін у продукцію або процес. Детальний опис використання та застосування RCM наведено в МЕК 60300–3–11.

Сфера застосування

Цей метод можна застосовувати до завдань, пов'язаних із забезпеченням безпеки персоналу, охороною навколишнього середовища, експлуатаційними або економічними проблемами. Вибір критеріїв залежить від особливостей продукції і способів її використання. Наприклад, процес виробництва має бути економічно доцільним, і тому його ефективність залежить від витрат, пов'язаних із виконанням встановлених екологічних вимог; у тому числі до захисного обладнання ставлять більш високі експлуатаційні вимоги, але менш суворі критерії в галузі безпеки, економіки та екології. Метод дає найбільші переваги, якщо аналіз спрямований на види відмов, що призводять до серйозних наслідків у сфері безпеки, екології, економіки або функціонування обладнання.

Метод RCM використовують для забезпечення ефективного технічного обслуговування і зазвичай застосовують на етапі проектування і розробки, а потім впроваджують на етапі виробництва і технічного обслуговування.

Вхідні дані

Для успішного застосування методу RCM необхідне знання обладнання, виробничого середовища, конструкції досліджуваного об'єкта, взаємодіючих із ним систем, підсистем та елементів обладнання, а також можливих відмов та їх наслідків.

Процес виконання методу

Основними етапами виконання методу RCM є:

- ініціювання та планування;
- аналіз функціональних відмов;
- вибір завдань технічного обслуговування;
- впровадження;
- постійне поліпшення.

Метод RCM заснований на методах досліджень у сфері ризику, тому що включає етапи оцінки ризику.

В даному випадку тип оцінки ризику – це аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMESCA), що потребує спеціального підходу при використанні в цій сфері застосування.

Ідентифікацію ризику зазвичай застосовують у ситуаціях, коли частота та/або наслідки відмов можуть бачити усунені або зменшені виконанням технічного обслуговування. При цьому ідентифікують функціональні й експлуатаційні вимоги та відмови устаткування і компонентів, які можуть призвести до невиконання цих вимог.

Аналіз ризику включає оцінку частоти кожної відмови без виконання технічного обслуговування. Наслідки встановлюють шляхом визначення впливу відмови. Матриця ризику, що поєднує в собі частоту відмов та їх наслідки, дозволяє встановити категорії та рівні ризику. Далі необхідно провести оцінку ризику шляхом вибору відповідної політики управління щодо

кожного виду відмови. Весь процес RCM необхідно задокументувати для подальшого аналізу. Збір даних про відмови і даних, пов'язаних із технічним обслуговуванням, дозволяє проводити моніторинг результатів та впроваджувати необхідні удосконалення.

Вихідні дані

Метод RCM дає можливість встановити завдання в галузі технічного обслуговування, такі, як моніторинг технічного стану, планові ремонт і заміна, виявлення відмов або поточне технічне обслуговування. Інші можливі дії, які можуть настати слідом після цього аналізу, передбачають модернізацію обладнання, внесення змін до експлуатаційних документів та процедури технічного обслуговування та/або проведення додаткового навчання. В рамках аналізу також необхідно ідентифікувати періодичність виконання завдань і необхідні ресурси.

Посилання на стандарти

ІЕС 60300–3–11 Управління загальною надійністю. Частина 3–11. Керівництво з застосування. Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності.

Аналіз прихованих дефектів і аналіз паразитних кіл (SA)

Стислий огляд

Аналіз прихованих дефектів (SA – Sneak Analysis) є методом ідентифікації помилок проектування. До прихованих дефектів можуть належати неявні дефекти комп'ютерного обладнання, програмного забезпечення або їх поєднання, що можуть спричинити подію або перешкоджати реалізації очікуваної події і не є наслідком відмови компонентів. Ці дефекти мають випадковий характер і можуть бути не виявлені під час випробувань і тестування. Приховані дефекти можуть призвести до невідповідного виконання технологічних операцій, відмови системи, затримок у роботі програм і навіть травмування або загибелі персоналу.

Сфера застосування

Аналіз паразитних кіл (SCA – Sneak Circuit Analysis) був розроблений наприкінці 1960–х років для НАСА з метою перевірки функціональних можливостей проекту. Цей метод був використаний для виявлення паразитних електричних кіл, а також для розробки рішень з ізолювання кожної функції. У міру технологічного прогресу методи аналізу паразитних кіл також удосконалювалися. Аналіз прихованих дефектів включає і значно перевищує за обсягами аналіз паразитних кіл. Він дозволяє виявляти проблеми як у технічних, так і в програмних засобах. Методи аналізу прихованих дефектів можуть об'єднувати різні типи аналізу, наприклад аналіз дерева несправностей, аналіз видів і наслідків відмов (FMEA), оцінку надійності та ін., в один аналіз, а отже, менше витрат за часом і коштами.

Вхідні дані

Для аналізу прихованих дефектів характерним є застосування різних методів (деревоподібні схеми, схеми типу «ліс», допоміжні фрази або запитання, що допомагають фахівцеві, який проводить аналіз, ідентифікувати наявність прихованих дефектів) для виявлення конкретного типу проблеми. Деревоподібні схеми і схеми типу «ліс» – це топологічні угруповання досліджуваної системи. Кожна деревоподібна схема являє собою підфункцію і показує всі вхідні дані, які можуть вплинути на вихідні дані розглянутої функції системи. Схеми типу «ліс» будують шляхом об'єднання деревоподібних схем, які беруть участь у формуванні вихідних даних конкретної системи. Належно побудована схема типу «ліс» відображає вихідні дані системи з урахуванням всіх пов'язаних з ними вхідних даних. Поряд з іншими вхідними даними вони стають вхідними даними для аналізу.

Процес виконання методу

Виконання методу передбачає такі етапи:

- підготовку даних;
- побудову деревоподібної схеми;
- Оцінку шляхів схеми;

– Складання заключних рекомендацій та звіту.

Вихідні дані

Паразитне коло – це непередбачений спосіб або логіка функціонування системи, які за певних умов можуть ініціювати несприятливу функцію або пригнічувати сприятливу функцію.

Паразитне коло може бути присутнім у технічних засобах, програмному забезпеченні, дії оператора або їх поєднаннях. Паразитне коло не є результатом відмови технічних засобів, а є прихованим станом, ненавмисно включеним в систему, програмним продуктом або наслідком помилки оператора. Існує чотири категорії паразитних кіл:

1. Паразитні канали: непередбачені канали, по яких струм, енергія або логічні послідовності проходять у непередбаченому напрямку.

2. Паразитний хронометраж: виникнення подій у непередбаченій або суперечливій послідовності.

3. Паразитні показання: невизначена або помилкова індикація режиму функціонування системи, яка може призвести до збою системи або стати причиною небажаної дії оператора.

4. Паразитні позначки: невідповідні або неточні позначки функцій системи, наприклад введів системи, органів керування, каналів передачі інформації, що можуть спричинити введення оператором невірних керуючих команд у систему.

Переваги та недоліки

Переваги методу такі:

– аналіз прихованих дефектів дозволяє ідентифікувати помилки проектування;

– при спільному використанні з дослідженням HAZOP метод дає можливість отримати найкращі результати;

– метод може бути застосований до систем, які мають різні стани, наприклад, до виробництва безперервної або напівнеперервної дії.

Метод має такі недоліки:

– процес аналізу може відрізнятись від того, чи застосовується він до електричних кіл, технологічних установок, механічного обладнання або програмних засобів.

– метод залежить від правильності побудови деревоподібних схем.

Марківський аналіз

Стислий огляд

Марківський аналіз застосовують у ситуації, коли майбутній стан системи залежить тільки від її поточного стану. Цей метод зазвичай використовують для аналізу ремонтпридатності систем, які можуть працювати в багатьох режимах, і в ситуаціях, коли застосування аналізу надійності окремих блоків системи є недоцільним. Метод може бути застосований до більш складних систем, використовуючи більш високий порядок процесів Маркова, і обмежений тільки моделлю, математичними обчисленнями і припущеннями.

Процес марківського аналізу є кількісним методом і може бути дискретним (використання ймовірностей переходу між станами) або безперервним (використання коефіцієнтів інтенсивності переходу зі стану в стан). Марківський аналіз може бути виконаний вручну, однак характеристики методу дозволяють використовувати для нього комп'ютерні програми.

Сфера застосування

Марківський аналіз може бути використаний для систем із різною структурою (ремонтпридатних і неремонтпридатних), включаючи:

- системи з паралельними незалежними компонентами;
- системи з послідовними незалежними компонентами;
- системи з розподіленим навантаженням;
- резервовані системи, включаючи випадок, коли може відбутися відмова функцій перемикачів;
- деградуючі системи.

Марківський аналіз використовують також для розрахування експлуатаційної готовності, включаючи розрахування необхідних компонентів запчастин для ремонту.

Вхідні дані

Вхідними даними марківського аналізу є:

- перелік різних станів системи, підсистеми або компонента (наприклад, повне функціонування, часткове функціонування (погіршення стану), відмова;
- точне розуміння можливих переходів, які необхідно змоделювати. Наприклад, при відмові шини автомобіля необхідно досліджувати стан запасного колеса і, отже, частоти його перевірок;
- швидкість переходу з одного стану в інший, зазвичай подана або ймовірністю переходу для дискретних подій, або інтенсивністю відмов (λ) і (або) інтенсивністю відновлення (μ) для безперервних подій.

Процес виконання методу

Марківський аналіз заснований на понятті «стану» (наприклад, працездатний і непрацездатний стан) і переходу між цими станами в часі в припущенні постійної ймовірності переходу. Стохастичну матрицю ймовірностей переходу використовують для опису переходів між станами та необхідних обчислень.

Для ілюстрації застосування марківського аналізу розглянемо складну систему, яка може знаходитися тільки в трьох станах: працездатному, погіршеному і непрацездатному, позначених як стани S_1 , S_2 , S_3 відповідно. У будь-який момент часу система знаходиться в одному з трьох станів. У табл. 5.3 наведено ймовірність того, що в наступний момент часу система буде перебувати в стані S_i , де i може бути 1, 2 або 3.

Таблиця 5.3 – Матриця Маркова

Стан в наступний момент часу	Стан в поточний момент часу		
	S 1	S 2	S 3
S 1	0,95	0,30	0,2
S 2	0,04	0,65	0,6
S 3	0,01	0,05	0,2

Цей масив ймовірностей називається матрицею Маркова або матрицею переходу. Слід зазначити, що сума в кожному стовпці матриці дорівнює 1, тому що це сума ймовірностей всіх можливих станів у кожному випадку. Система також може бути подана діаграмою Маркова, в якій кола відображають стан, а стрілки – переходи з відповідною ймовірністю (рис. 5.14).

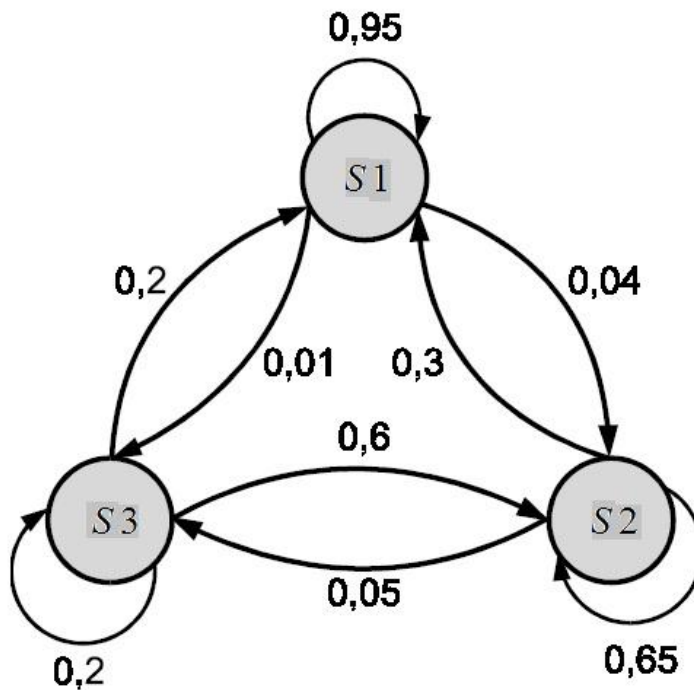


Рисунок 5.14 – Приклад діаграми Маркова для системи

Стрілки, замкнуті на одному стані, зазвичай не показують. У цьому прикладі вони наведені для повноти подання.

Якщо P_i – ймовірність перебування системи в стані i , для $i = 1, 2, 3$, то:

$$P1 = 0,95P1 + 0,30P2 + 0,20P3; \quad (5.1)$$

$$P2 = 0,04P1 + 0,65P2 + 0,60P3; \quad (5.2)$$

$$P3 = 0,01P1 + 0,05P2 + 0,20P3. \quad (5.3)$$

Ці три рівняння залежні, і система рівнянь не може бути розв'язана. Для розв'язання необхідно одне з наведених рівнянь виключити, замінивши його таким рівнянням:

$$1 = P1 + P2 + P3. \quad (5.4)$$

Отримані значення становлять 0,85; 0,13 і 0,02 відповідно для станів 1, 2, 3. Система є повністю функціонуючою протягом 85 % часу, в погіршеному – стані протягом 13 % часу і в стані відмови протягом 2 % часу .

Розглянемо ситуацію, коли система складається з двох послідовних елементів. Для працездатності системи обидва елементи повинні перебувати в працездатному стані. Елементи можуть бути у працездатному стані або в стані відмови. Працездатність системи залежить від стану елементів.

Можливі такі стани елементів:

- стан 1 – обидва елементи знаходяться в працездатному стані;
- стан 2 – один елемент відмовив і знаходиться на відновленні, а інший перебуває в працездатному стані;
- стан 3 – обидва елементи відмовили і знаходяться на відновленні.

Якщо інтенсивність відмови кожного елемента взяти рівною λ , а інтенсивність відновлень – рівною μ , і вони є постійними, то діаграму стану переходу можна подати у вигляді рис. 5.15.

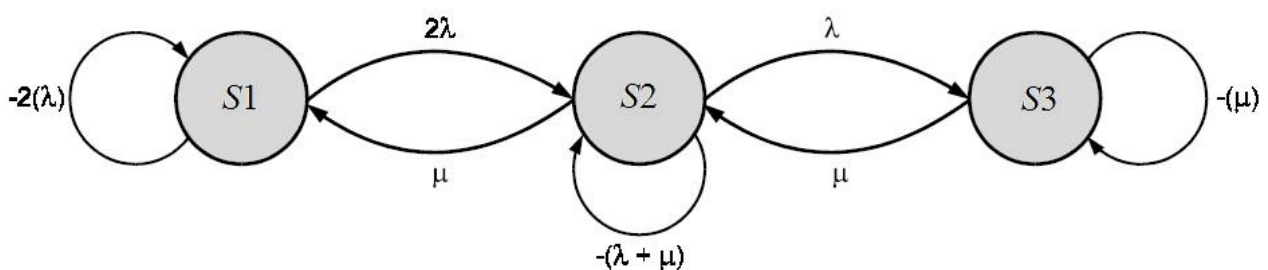


Рисунок 5.15 – Приклад діаграми станів переходу

При цьому інтенсивність переходу зі стану 1 в стан 2 дорівнює 2λ , оскільки відмова будь-якого з двох елементів надає системі стану 2.

Нехай $P_i(t)$ – ймовірність перебування системи в початковому стані i в момент часу t ; $P_i(t + \delta t)$ – ймовірність перебування системи в кінцевому стані i в момент часу $(t + \delta t)$.

Необхідно відзначити, що нульові значення виникають тому, що переходи неможливі із стану 1 в стан 3 або зі стану 3 у стан 1. Крім того, сума в колонці дорівнює нулю при визначенні інтенсивності.

У цьому випадку система рівнянь має такий вигляд:

$$dP_1/dt = 2\lambda P_1(t) + \mu P_2(t), \quad (5.5)$$

$$dP_2/dt = 2\lambda P_1(t) + -(\lambda + \mu) P_2(t) + \mu P_3(t), \quad (5.6)$$

$$dP_3/dt = \lambda P_2(t) + -\mu P_3(t). \quad (5.7)$$

Для простоти можна припустити, що необхідна працездатність відповідає стійкому стану системи.

Якщо δt прямує до нескінченності, dP_i/dt прямує до нуля, що дозволяє спростити рівняння. Також необхідно використовувати додаткове рівняння (див. 5.4). Тоді рівняння $A(t) = P_1(t) + P_2(t)$ можна записати у вигляді:

$$A = P_1 + P_2, \quad (5.8)$$

$$\text{Отже,} \quad A = (\mu^2 + 2\lambda\mu) / (\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2). \quad (5.9)$$

Вихідні дані

Вихідними даними марківського аналізу є ймовірності перебування системи в різних станах, а отже – оцінки ймовірностей відмови та/або безвідмовної роботи істотних компонентів системи (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Кінцева матриця Маркова

Кінцевий стан	Початковий стан		
	$P1(t)$	$P2(t)$	$P3(t)$
$P1(t + \delta t)$	-2λ	μ	0
$P2(t + \delta t)$	2λ	$-(\lambda + \mu)$	μ
$P3(t + \delta t)$	0	λ	$-\mu$

Переваги та недоліки

Перевагою марківського аналізу є можливість обчислення ймовірностей станів систем із відновленням і множинними станами деградації.

Недоліки Марківського аналізу:

- метод заснований на припущенні про постійність ймовірностей переходу та наявності тільки двох можливих станів елементів системи (відмови і відновлення);

- у методі використано припущення, що всі розглянуті події статистично незалежні, таким чином, майбутні стани не залежать від минулих станів, за винятком безпосередньо попереднього стану;

- для застосування методу необхідно знати всі ймовірності переходу;

- робота з методом неможлива без знання операцій із матрицями;

- отримані результати важкі для розуміння персоналом, який не має відповідних технічних знань, навичок і досвіду.

Порівняння

Марківський аналіз аналогічний аналізу мережі Петрі за можливістю забезпечення моніторингу та спостереження за станами системи, але на відміну від мережі Петрі метод допускає існування декількох станів в один і той самий час.

Посилання на стандарти

МЕК 61078 Методи аналізу надійності. Метод структурної схеми надійності.

МЕК 61165 Застосування марківських методів ISO / ІЕС 15909 (всі частини). Програмне забезпечення та системне проектування. Мережі Петрі високого рівня.

Моделювання методом Монте-Карло

Стислий огляд

Багато систем занадто складні для дослідження впливу невизначеності з використанням аналітичних методів. Однак такі системи можна досліджувати, якщо розглядати вхідні дані у вигляді випадкових змінних, повторюючи велику кількість обчислень N (ітерацій), для отримання результату з необхідною точністю.

Метод може бути застосований у складних ситуаціях, які важкі для розуміння і розв'язання за допомогою аналітичних методів. Моделі систем можуть бути розроблені з використанням таблиць та інших традиційних методів. Існують і більш сучасні програмні засоби, що задовольняють високим вимогам, багато з яких відносно недорогі. Якщо модель розробляють і застосовують вперше, то необхідна для методу Монте–Карло кількість ітерацій може зробити отримання результатів дуже повільним і трудомістким. Однак сучасні досягнення комп'ютерної техніки і розробка процедур генерації даних за принципом латинського гіперкуба дозволяють зробити тривалість обробки незначною у багатьох випадках.

Сфера застосування

Метод Монте-Карло є способом оцінки впливу невизначеності оцінки параметрів системи у багатьох ситуаціях. Метод зазвичай використовують для оцінки діапазону зміни результатів і відносної частоти значень в цьому діапазоні для кількісних величин, таких, як вартість, тривалість, продуктивність, попит та ін. Моделювання методом Монте-Карло може бути використано для двох різних цілей:

– трансформування невизначеності для звичайних аналітичних моделей;

– розрахунку ймовірностей, якщо аналітичні методи не можуть бути використані.

Вхідні дані

Вхідними даними для моделювання методом Монте–Карло є добре опрацьована модель системи, інформація про тип вхідних даних, джерела невизначеності і необхідних вихідних даних.

Вхідні дані та відповідну їм невизначеність розглядають у вигляді випадкових змінних із відповідними розподілами. З цією метою використовують рівномірні, трикутні, нормальні і логарифмічно нормальні розподіли.

Процес моделювання Монте-Карло

Процес включає такі етапи:

1) визначення моделі або алгоритму, що найбільш точно описують поведінку досліджуваної системи;

2) багаторазове застосування моделі з використанням генератора випадкових чисел для отримання вихідних даних моделі (моделювання системи). За необхідності моделюють вплив невизначеності.

Модель записують у формі рівняння, що виражає співвідношення між вхідними та вихідними параметрами. Значення, відібрані вхідні дані, отримують виходячи з відповідних розподілів ймовірностей, що характеризують невизначеність даних;

3) за допомогою комп'ютера багаторазово використовують модель (часто до 10 000 разів) із різними вхідними даними і отримують вихідні дані. Вони можуть бути оброблені за допомогою статистичних методів для отримання оцінок середнього, стандартного відхилення, довірчих інтервалів.

Розглянемо систему, що складається з двох паралельних елементів. При цьому для функціонування системи достатньо, щоб функціонував один елемент. Імовірність безвідмовної роботи першого елемента становить 0,9, а другого – 0,8.

Дані моделювання наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати застосування методу Монте–Карло до системи з двох паралельних елементів

Номер ітерації	Елемент 1		Елемент 2		Система
	Випадкове число	Елемент функціонує	Випадкове число	Елемент функціонує	
1	0,577 243	Так	0,059 355	Так	1
2	0,746 909	Так	0,311 324	Так	1
3	0,541 728	Так	0,919 765	Ні	1
4	0,423 274	Так	0,643 514	Так	1
5	0,917 776	Ні	0,539 349	Так	1
6	0,994 043	Ні	0,972 506	Ні	0
7	0,082 574	Так	0,950 241	Ні	1
8	0,661 418	Так	0,919 868	Ні	1
9	0,213 376	Так	0,367 555	Так	1
10	0,565 657	Так	0,119 215	Так	1

Для кожного елемента генератор випадкових чисел формує псевдовипадкове число з інтервалу від 0 до 1, яке зіставляють з імовірністю безвідмовної роботи елемента, потім визначають працездатність системи. При 10 повтореннях процедури результат 0,9, швидше за все, не буде досягнутий. Зазвичай обчислення продовжують до досягнення необхідного рівня точності. У цьому прикладі значення 0,9 799 для ймовірності безвідмовної роботи системи досягнуто після проведення 20 000 ітерацій.

Наведена модель може бути розширена різними способами, наприклад шляхом:

- зміни моделі взаємодії елементів у системі (наприклад, другий елемент знаходиться в резерві і вводиться в експлуатацію відразу після відмови першого елемента);

- заміни фіксованої ймовірності безвідмовної роботи на змінну (наприклад, яка підпорядковується трикутному розподілу), коли ймовірність безвідмовної роботи не може бути точно визначена;

- використання параметра потоку або інтенсивності відмов у поєднанні з генератором випадкових чисел для генерації напрацювань на відмову або до

відмови (експоненціальний розподіл, розподіл Вейбулла або інший розподіл) і часу відновлення. Цей Монте-Карло може бути застосований для оцінки невизначеності фінансових прогнозів, результатів інвестиційних проектів, при прогнозуванні вартості і графіка виконання проекту, порушень бізнес–процесу і заміни персоналу.

Даний метод застосовують у ситуаціях, коли результати не можуть бути отримані аналітичними методами або існує висока невизначеність вхідних або вихідних даних.

Вихідні дані

Вихідними даними можуть бути значення характеристик, як показано в наведеному вище прикладі, або розподіл ймовірності або частоти відмови, або виходом може бути ідентифікація основних функцій моделі, які надають основний вплив на вихідні дані.

Метод Монте-Карло зазвичай використовують для оцінки розподілу вхідних або вихідних результатів або характеристик розподілу, в тому числі для оцінки:

- імовірності встановлених станів;
- значень вихідних величин, для яких встановлені межі, відповідно до деяких рівнів довіри, які не повинні бути порушені.

Аналіз взаємозв'язку вхідних і вихідних величин може виявити відносне значення факторів роботи системи та ідентифікувати способи зниження невизначеності вихідних величин.

Переваги та недоліки

Переваги методу Монте-Карло:

- метод може бути адаптований до будь–якого розподілу вхідних даних, включаючи емпіричний розподіл, побудований на основі спостережень за відповідними системами;
- моделі відносно прості для роботи і можуть бути за необхідності розширені;

– метод дозволяє врахувати будь-які впливи і взаємозв'язки, включаючи такі тонкі, як умовні залежності;

– для ідентифікації сильних і слабких впливів може бути застосований аналіз чутливості;

– моделі є зрозумілими, а взаємозв'язок між входами і виходами – прозорим;

– метод допускає застосування ефективних моделей дослідження багатокомпонентних систем, таких, як мережа Петрі;

– метод дозволяє досягти необхідної точності результатів;

– програмне забезпечення методу є доступним і відносно недорогим.

Недоліки методу полягають у такому:

– точність рішень залежить від кількості ітерацій, які можуть бути виконані (цей недолік стає менш значущим зі збільшенням швидкодії комп'ютера);

– метод припускає, що невизначеність даних можна описати відомим розподілом;

– великі і складні моделі можуть становити труднощі для фахівців з моделювання і ускладнювати залучення зацікавлених сторін.

Метод не може адекватно моделювати події з дуже високою або дуже низькою ймовірністю появи, що обмежує його застосування при аналізі ризику.

Посилання на стандарти

МЕК 61649 Критерії згоди, довірчі інтервали і нижні довірчі межі для розподілу Вейбулла (IEC 61649 Weibull analysis).

Керівництво ISO / IEC 98–3:2008 Невизначеність вимірювання. Частина 3. Керівництво за вираженням невизначеності вимірювання.

Байєсівський аналіз і Мережа Байєса

Стислий огляд

Створення байєсівського аналізу приписують преподобному Томасу Байєсу. Для оцінки повної ймовірності він запропонував об'єднати апіорні дані з апостеріорними.

Загальний вигляд теореми Байєса:

$$P(A | B) = \{P(A) P(B | A)\} / \sum P(B | E_i) P(E_i), \quad (5.10)$$

де $P(X)$ – ймовірність події X ; $P(X | Y)$ – ймовірність події X за умови, що відбулася подія Y ; E_i – i -а подія.

У найпростішій формі теорему Байєса можна записати:

$$P(A / B) = \{P(A) P(B / A)\} / P(B). \quad (5.11)$$

Байєсівський аналіз відрізняється від класичної статистики припущенням, що параметри розподілів є не постійними, а випадковими змінними. Ймовірність Байєса можна легко зрозуміти, якщо розглядати її як ступінь впевненості в певній події в протилежність класичному підходу, заснованому на об'єктивних свідченнях. Оскільки підхід Байєса заснований на суб'єктивній інтерпретації ймовірності, то він може бути корисний при виборі рішення та розробці мереж Байєса (або мереж довіри).

Мережа Байєса є графічною моделлю, що являє собою змінні та їх ймовірнісні взаємозв'язки. Мережа складається з вузлів – випадкових змінних і стрілок, що пов'язують батьківський вузол з дочірнім вузлом (батьківський вузол – це змінна, яка безпосередньо впливає на іншу дочірню змінну).

Сфера застосування

Теорії та мережі Байєса широко застосовують з причини їх інтуїтивної зрозумілості та завдяки наявності відповідного програмного забезпечення. Мережі Байєса використовують у різних галузях: медичній діагностиці, моделюванні зображень, генетиці, розпізнаванні мови, економіці, дослідженні космосу і в сучасних пошукових системах. Їх можуть застосовувати в будь-якій сфері, де потрібне встановлення невідомих змінних за допомогою використання структурних зв'язків і даних. Мережі Байєса можуть бути застосовані для вивчення причинних зв'язків, поглиблення розуміння проблемної сфери та прогнозування наслідків втручання в систему.

Вхідні дані

Вхідні дані для аналізу та мережі Байєса подібні вхідним даним для моделі Монте-Карло. Для мережі Байєса (рис. 5.16) основними етапами є:

- визначення змінних системи;
- визначення причинних зв'язків між змінними;
- визначення умовних і апіорних ймовірностей;
- додавання об'єктивних свідчень до мережі;
- оновлення довірчих оцінок;
- визначення апостеріорних довірчих оцінок.

Процес виконання методу

Теорія Байєса може бути застосована різними способами. У наведеному прикладі розглянуто побудову таблиці Байєса для проведення медичних досліджень з визначення наявності у пацієнта захворювання (табл. 5.6). До початку досліджень передбачається, що у 99 % населення цього захворювання немає, у 1 % – захворювання є (апіорна інформація). Достовірність тесту така, що якщо у людини є захворювання, то результати тестів позитивні в 98 %. Якщо у людини захворювання відсутнє, результати тесту позитивні в 10 %.

Таблиця 5.6 – Таблиця Байєса

Ознака	Апіорна ймовірність	Умовна ймовірність правильності тесту	Добуток ймовірностей	Апостеріорна ймовірність
Є захворювання	0,01	0,98	0,0098	0,0901
Немає захворювання	0,99	0,10	0,0990	0,9099
Сума	1		0,1088	1

Застосовуючи теорему Байєса, результат визначають множенням апіорної ймовірності на умовну ймовірність. Апостеріорні ймовірності визначають діленням значення окремого результату на суму результатів. Результати розрахунку показують, що стосовно позитивного результату тесту апіорне значення зросло з 1 до 9 %. Більш того, велика ймовірність того, що навіть при позитивному результаті тесту наявність захворювання

малоймовірна. Аналіз рівняння $(0,01 \cdot 0,98) / ((0,01 \cdot 0,98) + (0,99 \cdot 0,1))$ показує, що позитивний результат за відсутності захворювання важливий для апостеріорних значень.

Розглянемо таку мережу Байєса:

Згідно з умовними апріорними ймовірностями, визначеними в таблицях, і позначеннями Y – позитивний, а N – негативний, позитивний результат вказує на наявність захворювання.

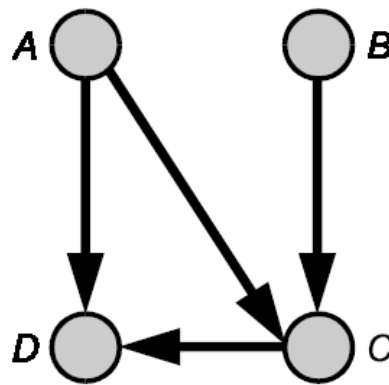


Рисунок 5.16 – Приклад мережі Байєса

Таблиця 5.7 – Апріорні ймовірності для вузлів A і B

$P(A = Y)$	$P(A = N)$	$P(B = Y)$	$P(B = N)$
0,9	0,1	0,6	0,4

Таблиця 5.8– Умовні ймовірності, визначені для вузла C з вузлами A і B

A	B	$P(C=Y)$	$P(C=N)$
Y	Y	0,5	0,5
Y	N	0,9	0,1
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,7	0,3

Таблиця 5.9 – Умовні ймовірності, визначені для вузла D з вузлами A і C

A	C	$P(D = Y)$	$P(D = N)$
Y	Y	0,6	0,4
Y	N	1,0	0,0
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,6	0,4

Для визначення апостеріорної ймовірності $P(A / D = N, C = Y)$ необхідно спочатку обчислити $P(A, B / D = N, C = Y)$.

Використовуючи правило Байєса, значення ймовірності $P(D / A, C) \times P(C / A, B) \times P(A) \times P(B)$ необхідно визначити за формулою, як показано нижче в таблиці, при цьому в останньому стовпці вказані нормалізовані ймовірності, сума яких дорівнює 1, як показано в попередньому прикладі.

Таблиця 5.10 – Апостеріорна ймовірність для вузлів A і B з вузлами D і C

A	C	$P(D = Y)$	$P(D = N)$
Y	Y	$0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 0,110$	0,4
Y	N	$0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,4 = 0,130$	0,48
N	Y	$0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,6 = 0,010$	0,04
N	N	$0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,1 \cdot 0,4 = 0,022$	0,08

Для отримання $P(A / D = N, C = Y)$ всі значення B підсумовують.

Таблиця 5.11 – Апостеріорна ймовірність для вузла A з вузлами D і C

$P(A=Y D=N, C=Y)$	$P(A=N D=N, C=Y)$
0,88	0,12

Отримані результати свідчать, що апріорна ймовірність $P(A = N)$ збільшилася з 0,1 до 0,12 (апостеріорні дані) і зміни є незначними. З іншого

боку, значення ймовірності $P (B = N/D = N, C = Y)$ змінилося з 0,4 до 0,56. Ця зміна вже більш істотна.

Вихідні дані

Байєсівський підхід може бути застосований такою самою мірою, що і класична статистика, з отриманням широкого діапазону вихідних даних, наприклад при аналізі даних для отримання точкових оцінок і довірчих інтервалів. Мережі Байєса використовують для отримання апостеріорних розподілів. Графічні подання вихідних даних забезпечують простоту розуміння моделі, при цьому дані можуть бути легко змінені для дослідження кореляції та чутливості параметрів.

Переваги та недоліки

Переваги методу такі:

- для використання методу достатньо знання апріорної інформації;
- логічно виведені твердження легкі для розуміння;
- застосування методу засноване на формулі Байєса;
- метод є способом використання суб'єктивних імовірнісних оцінок.

Недоліки методу такі:

- визначення всіх взаємодій у мережах Байєса для складних систем не завжди можна здійснити.
- підхід Байєса потребує знання безлічі умовних ймовірностей, які зазвичай отримують експертними методами. Застосування програмного забезпечення засноване на експертних оцінках.

Криві FN

Стислий огляд

Криві FN є способом графічного подання ймовірності подій, що викликають певний рівень небезпечних впливів для встановленої групи населення. Найчастіше ці криві відображають частоту заданої кількості жертв.

Криві FN відображають накопичену частоту F , при якій на N або більше представників населення буде зроблено вплив. Великі значення N , які можуть

виникнути з високою частотою F , становлять значний інтерес, оскільки ймовірність подій у цьому випадку велика (див.рис. 1.3).

Сфера застосування

Криві FN є способом подання результатів аналізу ризику. Багато подій мають високу вірогідність результатів із низькими наслідками і низьку ймовірність з високими наслідками. Криві FN дозволяють відобразити рівень ризику, який являє собою лінію, що описує швидше деякий діапазон, ніж окрему точку, що становить пару значень ймовірності та наслідки.

Криві FN можуть бути використані для порівняння значень ризику, наприклад, порівняння прогнозованого ризику з критеріями у вигляді кривої FN або для порівняння прогнозованого ризику з накопиченими даними про інциденти, або з критеріями прийняття рішення (також у вигляді кривої FN). Криві FN можуть бути використані при проектуванні систем, процесів або для управління існуючими системами.

Вхідні дані

Вхідними даними є:

- сукупності пар значень ймовірності та наслідків за певний період часу;
- вихідні дані, отримані в результаті кількісного аналізу ризику, що надають кількісні оцінки ймовірності для конкретних випадкових подій;
- дані накопичених записів і кількісної оцінки ризику.

Процес виконання методу

На основі наявних даних будують графік із зазначенням по осі абсцис кількості жертв (встановленого рівня небезпечних впливів, наприклад смертності), по осі ординат – ймовірності N або більшої кількості жертв. Внаслідок великого діапазону значень на осях зазвичай застосовують логарифмічний масштаб.

Криві FN можуть бути побудовані з використанням даних фактичних втрат у минулому або обчислені і побудовані на основі оцінок, отриманих методом імітаційного моделювання. Використовувані дані і зроблені припущення можуть означати, що дані двох типів кривої FN являють собою

різну інформацію та повинні бути використані окремо і для різних цілей. Теоретичні криві FN переважно застосовують при проектуванні системи, статистичні криві FN – при управлінні існуючими системами.

Застосування цих підходів окремо може потребувати значних витрат часу, тому зазвичай їх об'єднують. На основі емпіричних даних відзначають точками на графіку відому кількість жертв у відомих подіях / інцидентах за вказаний проміжок часу і за допомогою кількісного аналізу ризику доповнюють графік іншими точками шляхом екстраполяції або інтерполяції.

Якщо необхідно досліджувати нещасні випадки або аварії з низькою частотою виникнення або значущими наслідками, то для належного аналізу слід розглянути тривалі періоди часу і достатню кількість даних. Це допомагає також виявити сумнівні дані, якщо, наприклад, початкова подія змінилася в часі.

Вихідні дані

Вихідними даними є графік, що подає ризик у діапазоні значень наслідків, який можна порівнювати з критеріями, відповідними цій досліджуваній групі населення і конкретному збитку.

Переваги та недоліки

Застосування кривих FN є доцільним для подання інформації про ризик, який можуть застосувати керівництво і розробник системи, для обґрунтування прийняття рішень щодо рівня ризику і безпеки. Їх застосування доцільне також для подання інформації як про частоту, так і про наслідки в зручній для сприйняття формі.

Можливе застосування кривих FN для порівняння ризику в аналогічних ситуаціях за наявності достатніх даних. Їх не слід застосовувати для порівняння різних типів ризиків із різними характеристиками й обставинами.

Недолік застосування кривих FN полягає в тому, що вони не надають інформації про діапазон впливів або результатів пригод, крім відомостей про кількість осіб, які зазнали впливу. Також неможливо встановити різні способи

розвитку подій, які можуть призвести до певного збитку. Криві *FN* відображають конкретний тип наслідків, зазвичай – загибель людей. Крива *FN* є не методом оцінки ризику, а методом подання результатів оцінки ризику.

Криві *FN* є добре розробленим методом подання результатів оцінки ризику, проте для їх підготовки може знадобитися залучення кваліфікованих аналітиків, а отримані результати часто важкі для інтерпретації та оцінки ризику фахівцями, які не мають відповідної компетенції.

Індекси ризику

Стислий огляд

Індекс ризику – це міра ризику, що являє собою кількісну оцінку ризику, отриману із застосуванням балових оцінок на основі порядкових шкал. Індекси ризику застосовують для впорядкування значень ризику на основі подібних критеріїв, щоб їх можна було порівнювати. Балові оцінки застосовують до кожного компонента ризику, наприклад, до характеристик (джерел) забруднення, діапазону можливих способів впливу вибуху та його впливу на реципієнтів.

Індекси ризику є принципово якісним підходом, що застосовується для ранжирування та порівняння ризиків. У багатьох випадках, коли застосовувана модель або система недостатньо добре вивчена, або її не можна належно подати, переважно використовують якісний підхід.

Сфера застосування

Індекси ризику застосовують для класифікації видів ризику, пов'язаних із діяльністю, якщо система добре вивчена. Вони дозволяють об'єднати ряд факторів, які визначають рівень ризику в єдину балову оцінку рівня ризику.

Індекси ризику застосовують для безлічі різних видів ризику, зазвичай як засіб розмежування при класифікації ризику відповідно до його рівня. Індекси ризику застосовують для визначення видів ризику, що потребують подальшої детальної і, можливо, кількісної оцінки.

Вхідні дані

Вхідні дані отримують за результатами аналізу системи або докладного опису сфери застосування, що потребує доброго розуміння усіх джерел ризику, можливих способів реалізації небезпечних подій та їх об'єктів впливу. При отриманні показників ризику можуть бути додатково використані такі методи, як аналіз дерева несправностей, аналіз дерева подій і загальний аналіз рішень.

Оскільки вибір порядкових шкал є певною мірою довільним, то для підтвердження достовірності індексу ризику необхідно мати достатньо даних.

Процес виконання методу

Першим етапом є вивчення та опис системи. Потім визначають балові оцінки для кожного компонента так, щоб їх можна було об'єднати для отримання комплексного індексу ризику.

Метод індексів ризику є змішаним методом оцінки ризику. Наприклад, при вирішенні екологічних завдань присвоюють балові оцінки джерелам, способам і реципієнту(-ам) впливу, враховуючи, що в деяких випадках може бути кілька способів і реципієнтів впливу для кожного джерела ризику. Окремі балові оцінки об'єднують згідно зі схемою, яка враховує фізичну суть системи. Важливо, щоб балові оцінки для кожної частини системи (джерел, способів і реципієнтів) були внутрішньо узгодженими і враховували їх взаємозв'язок. Бали можуть бути присвоєні компонентам ризику (наприклад, ймовірності, впливу, наслідкам) або факторам, що збільшують ризик.

Бали можна складати, віднімати, множити та/або ділити відповідно до моделі ризику високого рівня. Слід враховувати кумулятивні ефекти за допомогою додавання балів (наприклад, додавання балів різним способам реалізації ризику). До порядкових шкал абсолютно незастосовані математичні формули. Тому, після того як система балових оцінок розроблена, достовірність моделі повинна бути підтверджена за допомогою її перевірки на відомій системі. Отримання показника ризику здійснюється ітеративним методом, і тому може знадобитися розгляд кількох різних систем для об'єднання балів, перед тим як достовірність моделі можна буде вважати прийнятною.

Невизначеність можна розглядати із застосуванням аналізу чутливості та варіюванням балових оцінок, для того щоб з'ясувати, до яких параметрів є найбільша чутливість.

Вихідні дані

Вихідні дані – це ряд чисел (комплексних індексів), які належать до конкретного джерела, і які можна порівнювати з індексами ризику, отриманими для інших джерел тієї самої системи, або які можуть бути змодельовані.

Переваги та недоліки

Цей метод має такі переваги:

– індекси ризику доцільно застосовувати для ранжирування різних ризиків;

– індекси ризику дозволяють об'єднувати безліч факторів, що впливають на рівень ризику, в єдину балову оцінку рівня ризику.

Метод має такі недоліки:

– якщо достовірність процесу (моделі) та їх вихідних даних не підтверджена належно, то результати можуть бути недостовірними. Той факт, що вихідні дані є числовим виразом значення ризику, може бути невірно тлумачено та використано, наприклад, при подальшому аналізі ефективності витрат;

– у багатьох випадках, в яких застосовують індекси ризику, відсутня основоположна модель, що дозволяє визначити лінійність або нелінійність (наприклад, логарифмічний характер) окремих балових шкал факторів ризику або інший їх вид, а також модель об'єднання факторів. У цих випадках ранжування є спочатку ненадійним, і перевірка його достовірності згідно з фактичними даними особливо важлива.

Матриця наслідків і ймовірностей

Стислий огляд

Матриця наслідків і ймовірностей є засобом поєднання якісних або змішаних оцінок наслідків та ймовірностей і застосовується для визначення або

ранжирування рівня ризику. Формат, рядки і колонки матриці залежать від сфери застосування, при цьому дуже важливо, щоб розроблена матриця відповідала ситуації, що розглядається.

Сфера застосування

Матрицю наслідків і ймовірностей застосовують для ранжирування ризиків, їх джерел та заходів з обробки ризику на підставі рівня ризику. Матрицю зазвичай застосовують як засіб попередньої оцінки, якщо було виявлено кілька видів ризику, наприклад, для визначення того, який ризик потребує подальшого або більш докладного аналізу, який ризик необхідно обробляти в першу чергу, а який слід розглядати на більш високому рівні менеджменту. Цю матрицю також застосовують для відбору видів ризику, які не потребують подальшого розгляду, а також для визначення прийнятності чи неприйнятності ризику відповідно до матриці.

Застосування матриці наслідків і ймовірностей сприяє обміну інформацією про загальне сприйняття якісних рівнів ризику в організації. Спосіб, яким встановлюють рівні ризику, і правила прийняття рішення, що належать до нього, мають відповідати особливостям організації та її діяльності.

Форму матриці наслідків і ймовірностей застосовують для аналізу критичності в FMECA або для встановлення пріоритетів після застосування дослідження HAZOP. Її також можна застосовувати в ситуаціях, коли недостатньо даних для докладного аналізу, або у випадку, коли ситуація не виправдовує витрат часу і зусиль на проведення кількісного аналізу.

Вхідні дані

Вхідними даними до процесу є шкали наслідків і ймовірностей, встановлені відповідно до вимог споживача, та матриця, яка їх об'єднує.

Шкала (або шкали) наслідків повинна охоплювати весь діапазон типів наслідків, що досліджуються (наприклад, фінансові втрати, безпека, довкілля або інші параметри залежно від сфери застосування), і враховувати можливість наслідків: від максимально можливих до найменш імовірних.

Як вибірковий приклад наведено табл. 5.12.

Шкала може мати будь-яку кількість точок. Найбільш поширені шкали, що мають 3, 4 або 5 точок.

Шкала ймовірності також може мати будь-яку кількість точок. Визначення ймовірності необхідно вибирати настільки точними й однозначними, наскільки це можливо. Якщо для визначення різних ймовірностей застосовують числові значення, то мають бути наведені одиниці виміру. Шкала ймовірності повинна охоплювати діапазон, відповідний проведеному дослідженню, з урахуванням того, що найнижча ймовірність має бути прийнятною для найбільшого наслідку, в іншому випадку всю діяльність, пов'язану з найбільшим наслідком, розглядають як неприпустиму.

Таблиця 5.12 – Приклад матриці критеріїв наслідків

Рейтинг	Фінансовий вплив	Повернення інвестицій	Здоров'я та безпека	Навколишнє і соціальне середовище	Репутація організації	Законодавче переслідування
6	100 у.о. + втрати або дохід	300 у.о. + втрати або дохід	— велика кількість жертв; — значні і незворотні наслідки для 10 осіб	— незворотна довгострокова втрата для довкілля; — соціальний шок, можливість непропорційного протесту населення	— міжнародний резонанс протягом декількох днів; — сукупні втрати підтримки з боку причетних сторін, втрата капіталовкладень; — зміна керівництва департаментів та меж впливу	— судове переслідування з відшкодуванням оплати в 50 у.о. + вартість збитків; — покарання пов'язане з позбавленням волі керівництва організації; — пролонгована заборона на діяльність з боку влади;
5	10-99 у.о. + втрати або дохід	30-293 у.о. + втрати або дохід	— односторонні жертви; — деякі незворотні наслідки для одного або більше осіб	— пролонгована дія на навколишнє середовище; — підвищений інтерес до проблеми з боку соціуму, що вимагає значних коштів щодо виправлення ситуації	— національний резонанс протягом декількох днів; — частковий вплив на репутацію причетних сторін; — втрата підтримки причетних сторін і додаткових інвестицій	— відшкодування збитків у 10 у.о.; — проведення розслідування органами влади; — втручання в діяльність
4	1-9 у.о. + втрати	3-29 у.о. + втрати або дохід	— великі ушкодження	— велике		
3	100-900 у.о. втрати дохід					
2	10					
1						

Як вибірковий приклад наведено табл. 5.13.

Матрицю побудовано із зазначенням наслідків по одній осі та ймовірності по іншій осі. В табл. 5.14 показана частина приблизної матриці зі шкалою з 6 точок для наслідків і шкалою з 5 точок для ймовірностей.

Таблиця 5.13 – Приклад матриці оцінки ризику

Рейтинг	Критерії
Ймовірно	- з великою ймовірністю відбудеться; - станеться з періодичністю « раз на тиждень »
Можливо	- може відбутися короткостроково, але з періодичністю - станеться з періодичністю « раз на тиждень »
Малоймовірно	- може статися, теоретично; - частота
Рідко	- може статися випадково; - очікувана періодичність події - тільки відбудеться
Неймовірно	- може статися з ймовірністю - відбудеться

Таблиця 5.14 – Приклад матриці критеріїв імовірності

Клас ймовірності	<i>E</i>	IV	III	II	I	I	I
	<i>D</i>	IV	III	III	II	I	I
	<i>C</i>	V	IV	III	II	II	I
	<i>B</i>	V	IV	III	III	II	I
	<i>A</i>	V	V	IV	III	II	II
		1	2	3	4	5	6
		Клас наслідків					

Рівні ризику, встановлені для елементів таблиці, залежать від визначень, що застосовуються для шкал ймовірності та наслідків. Матриця може бути побудована з переважним впливом наслідків (як показано) або ймовірностей, або вона може бути симетричною, залежно від випадку застосування. Рівні ризику можуть бути пов'язані з правилами прийняття рішення за допомогою,

наприклад, рівня уваги з боку керівництва, або шкали часу, який потрібен для відповідного реагування.

Оціночні шкали і матриця можуть бути розроблені і на основі кількісних шкал. Наприклад, щодо надійності шкала ймовірностей може відображати наближене значення інтенсивності відмов, а шкала наслідків – витрати, спричинені відмовою, у грошових одиницях.

Застосування цього методу потребує наявності фахівців відповідної компетентності (переважно – дослідної групи) і всіх наявних даних для обґрунтування експертних висновків про наслідки та ймовірності.

Процес виконання методу

Для ранжирування ризиків користувач повинен перш за все підібрати опис наслідків, які найкраще відповідають ситуації, визначити ймовірність, з якою ці наслідки відбудуться. Потім визначити за допомогою матриці рівень ризику.

Багато небезпечних подій можуть мати діапазон результатів із різними відповідними ймовірностями. Незначні проблеми зазвичай відбуваються частіше, ніж катастрофічні події. Тому можна ранжувати часто одержувані результати, найбільш серйозні або інші поєднання ймовірності та наслідків.

У багатьох випадках потрібно приділяти увагу найбільш серйозним можливим результатам, оскільки вони становлять найбільшу загрозу і є найбільш значними. У деяких випадках необхідно ранжувати як звичайні проблеми, так і малоймовірні катастрофи як окремі види ризику. При цьому слід розглядати ймовірність, пов'язану з обраним наслідком, а не ймовірність події в цілому.

Рівень ризику, який визначається за матрицею, може бути пов'язаний із правилом прийняття рішень, наприклад, про необхідність проведення обробки ризику.

Вихідні дані

Вихідними даними є клас кожної небезпечної події або перелік небезпечних подій із зазначенням рівня значущості.

Переваги та недоліки

Перевагами методу є:

- відносна простота використання;
- забезпечення швидкого ранжирування ризику за рівнями значущості.

Метод має такі недоліки:

- матриця повинна бути розроблена для конкретних обставин, тому що важко скласти універсальну матрицю, яку організація може застосувати в будь-яких обставинах;
- як правило, важко однозначно встановити необхідні шкали;
- застосування матриці є вельми суб'єктивним і значною мірою залежить від фахівця, що виконує оцінку;
- ризики можна об'єднувати (тобто не можна встановити, що певна кількість низьких ризиків або низький ризик, виявлений певну кількість разів, еквівалентні середньому ризику);
- поєднання або порівняння рівнів ризику для різних категорій наслідків становить певні труднощі;
- результати залежать від рівня деталізації аналізу. Чим докладніший аналіз, тим більше сценаріїв, кожен з яких має більш низьку ймовірність. Все це призводить до недооцінки фактичного рівня ризику. Спосіб, яким групують сценарії при описі ризику, має бути однаковим і визначеним на початку дослідження.

Аналіз ефективності витрат (аналіз «витрат і вигод»)

Стислий огляд

Аналіз ефективності витрат використовують для оцінки ризику в ситуації, коли необхідно порівняти очікувані витрати із загальними очікуваними вигодами (доходами та перевагами) і вибрати кращий або найбільш вигідний

варіант рішення. Цей метод є неявною частиною багатьох систем оцінки ризику.

Аналіз може бути якісним або кількісним або поєднувати в собі кількісні та якісні елементи. Кількісний аналіз ефективності витрат включає в себе всі сумарні витрати і доходи всіх причетних сторін у грошовому вираженні, які потрапляють в сферу застосування аналізу і приведені за періоди часу, в який накопичуються витрати і доходи. Вхідними даними для прийняття рішень про ризик є отримана чиста приведена вартість (NPV). Позитивне значення NPV зазвичай означає, що подія має статися. Однак в окремих випадках для негативного ризику, особливо що включає ризик для життя людини або значну шкоду довкіллю, може бути застосований принцип ALARP (рис. 5.17). Цей принцип дозволяє розділити ризик на три рівні: рівень, вище якого негативний ризик неприпустимий і не повинен бути прийнятий, інакше як в екстраординарних обставинах; рівень, нижче якого ризик незначний, і необхідно лише проводити моніторинг для підтримки низького ризику; і центральна зона, де ризик слід утримувати настільки низьким, наскільки реально можливо (ALARP). До більш низьких рівнів ризику може бути застосований суворий аналіз ефективності витрат, однак якщо значення ризику близько до неприпустимого, принцип ALARP допускає, що необхідно провести обробку ризику, якщо витрати на обробку істотно не перевищували отриману вигоду.

Сфера застосування

Аналіз ефективності витрат може бути використаний для вибору між різними рішеннями, пов'язаними з ризиком.

Наприклад:

- як вхідні дані при рішенні про необхідність обробки ризику;
- при аналізі різних форм обробки ризику і виборі найкращого варіанта;
- при виборі способу дії.

Вхідні дані

Вхідні дані включають в себе інформацію про витрати та вигоди для відповідних причетних сторін і про оцінку невизначеності цих витрат і вигод. Необхідно розглядати матеріальні та нематеріальні витрати і вигоди.



Рисунок 5.17 – Концепція ALARP

Витрати охоплюють витрачені ресурси та втрати, пов’язані з отриманням негативних результатів, вигоди охоплюють позитивні результати і зекономлені ресурси, пов’язані з можливістю уникнути негативних результатів.

Процес виконання методу

На початку процесу ідентифікують причетні сторони, які можуть зазнати витрат або отримати вигоди. В повний аналіз ефективності витрат включають всі причетні сторони.

Далі ідентифікують прямі і непрямі вигоди та витрати всіх відповідних причетних сторін, пов'язаних зі сферою застосування аналізу. Прямі вигоди – це вигоди, отримані безпосередньо від виконаних дій. Непрямі (або допоміжні) вигоди мають зазвичай випадковий характер, але можуть істотно впливати на розв'язання задачі. Прикладами непрямих вигод можуть бути підвищення репутації, задоволеність персоналу та «душевний спокій» (їх часто важко врахувати при прийнятті рішень).

Прямі витрати – це витрати, безпосередньо пов'язані з розпочатими діями. Непрямі витрати – це додаткові, допоміжні та некупні витрати, такі, як втрата рентабельності, втрата часу вищого керівництва організації або відвернення капіталу від інших інвестицій. Застосовуючи аналіз ефективності витрат до рішень про необхідність обробки ризику, необхідно також враховувати витрати і вигоди, пов'язані з обробкою і прийняттям ризику.

При кількісному аналізі ефективності витрат після ідентифікації всіх матеріальних та нематеріальних витрат і вигод визначають їх вартість у грошовому вираженні (включаючи нематеріальні витрати і вигоди). Існують різні стандартні методи розрахунку їх вартості, засновані на таких способах розрахунку, як «готовність заплатити» і «використання замісників». Якщо, як часто трапляється, витрат зазнали за короткий проміжок часу (наприклад рік), а вигоди можуть бути отримані в довгостроковий період часу, то зазвичай для оцінки та порівняння вигод необхідно привести їх до «єдиного моменту часу». Всі витрати і вигоди подають у вигляді приведеної вартості. Для знаходження загальної чистої приведеної вартості (NPV) об'єднують всі витрати і вигоди всіх причетних сторін. Позитивне значення NPV означає, що дія вигідна. Для цілей аналізу також можна використовувати відношення витрат до вигод .

Якщо існує невизначеність у рівні витрат або вигод, то вони окремо або разом можуть бути співвіднесені з відповідними їм ймовірностями.

У якісному аналізі ефективності витрат не вживають спроб знайти вартість у грошовому вираженні для нематеріальних витрат і вигод. Замість приведення їх до єдиного моменту часу, що дозволяє підсумувати витрати і вигоди, співвідношення між витратами і вигодами розглядають якісно.

Аналогічним методом є аналіз рентабельності. Він передбачає встановлення точно певних вигод або результатів у грошовому вираженні декількома альтернативними способами. Аналіз досліджує тільки витрати і найменш дорогі шляхи досягнення вигод.

Вихідні дані

Вихідними даними аналізу ефективності витрат є інформація про відносні витрати і вигоди при різних варіантах рішень чи дій. Вихідні дані можуть бути виражені кількісно у вигляді чистої приведеної вартості (NPV), внутрішнього коефіцієнта рентабельності (IRR) або у вигляді відношення приведеної вартості вигод до приведеної вартості витрат. Якісно вихідні дані зазвичай подають у формі таблиці, в якій зіставляють різні типи витрат і вигод.

Переваги та недоліки

Переваги аналізу ефективності витрат:

- метод дозволяє порівнювати витрати і вигоди, використовуючи єдині метричні одиниці (гроші);
- аналіз забезпечує прозорість прийняття рішення;
- аналіз потребує збору докладної інформації щодо всіх можливих аспектів прийнятого рішення. Може бути корисний у підвищенні обізнаності та при обміні знаннями про проблему.

Недоліки методу:

- кількісний аналіз витрат і вигод може давати істотно різні результати залежно від методів визначення економічних значень для неекономічних вигод;
- у деяких випадках важко визначити дійсну ставку дисконтування майбутніх витрат і вигод;

– вигоди для великої групи населення оцінити достатньо важко, особливо якщо вони пов’язані з користю для суспільства;

– застосування дисконтування коштів, вигода від яких може бути отримана в довгостроковій перспективі, має незначний вплив на рішення залежно від обраної ставки дисконтування.

Метод не підходить для розгляду ризику, що зачіпає майбутні покоління, якщо встановлені дуже низькі або нульові ставки дисконту.

Мультикритеріальний аналіз рішень (MCDA)

Стислий огляд

Метою цього методу є використання ранжирування критеріїв для об’єктивної та прозорої оцінки різних варіантів рішень. У кінцевому підсумку необхідно визначити і розставити за пріоритетністю доступні варіанти рішень. Аналіз передбачає розробку матриці варіантів і критеріїв, які слід ранжувати й об’єднати для виконання загальної оцінки кожного варіанта рішення.

Сфера застосування

Метод MCDA може бути використаний для:

– порівняння декількох варіантів вирішення при первинному аналізі, в результаті якого необхідно визначити можливі найбільш кращі та невідповідні варіанти рішень;

– порівняння варіантів рішень за наявності декількох, іноді суперечливих критеріїв;

– досягнення компромісного рішення в ситуації, коли різні причетні сторони мають суперечливі цілі або цінності.

Вхідні дані

Вхідними даними є набір варіантів рішень для проведення аналізу. Критерії, засновані на поставлених цілях, можуть бути однаково застосовані до всіх варіантів рішень, щоб диференціювати їх між собою.

Процес виконання методу

Зазвичай процес включає в себе виконання групою компетентних фахівців, які представляють причетні сторони, таких дій:

- 1) встановлення мети;
- 2) визначення якісних ознак (критеріїв, показників оцінки або якісних характеристик виконання роботи) відповідно до кожної мети;
- 3) структурування якісних ознак за ієрархічним принципом;
- 4) розробки варіантів рішень, які необхідно оцінити відповідно до обраних критеріїв;
- 5) визначення важливості критеріїв і призначення для кожного з них вагового коефіцієнта;
- 6) оцінки альтернативних варіантів рішень з урахуванням критеріїв, що може бути подана у вигляді матриці балових оцінок;
- 7) об'єднання множинних балових оцінок для кожної якісної ознаки в єдину балову оцінку, що враховує безліч якісних ознак;
- 8) оцінки отриманих результатів.

Існують різні методи, відповідно до яких кожному критерію може бути призначено ваговий коефіцієнт, і різні способи об'єднання оцінок за критеріями для кожного варіанта рішення в єдину балову оцінку. Наприклад, оцінки можуть бути об'єднані у вигляді зваженої суми або зваженого виробу з використанням аналізу ієрархій та методу визначення ваг і ранжирування, оснований на попарних порівняннях. Всі ці методи припускають, що перевага якого-небудь критерію не залежить від значень інших критеріїв. Там, де це припущення не відповідає дійсності, застосовують інші моделі.

Оскільки оцінки мають суб'єктивний характер, то доцільним є проведення аналізу чутливості для встановлення тієї міри, до якої вагові коефіцієнти і оцінки впливають на загальний порядок переваг серед варіантів.

Вихідні дані

Вихідними даними методу є результати ранжирування варіантів спаданням уподобань. Якщо в процесі аналізу була складена матриця, в якій

осями є зважені критерії та оцінки кожного варіанта за критеріями, то варіанти, що не відповідають особливо значущим критеріям, можуть бути виключені.

Переваги та недоліки

Переваги методу такі:

– метод забезпечує просту структуру ефективного прийняття рішень та подання припущень і висновків;

– метод дозволяє вирішувати складні проблеми, вирішення яких неможливо за допомогою аналізу ефективності витрат;

– метод дозволяє раціонально досліджувати проблему пошуку оптимального рішення;

– метод дозволяє досягти компромісу в ситуації, коли причетні сторони мають різні цілі і, отже, критерії;

Недоліки методу такі:

– метод може зазнати впливу упередженого та неповного вибору критеріїв для прийняття рішення;

– більшість багатокритеріальних проблем не мають остаточного або однозначного рішення;

– алгоритми розрахунку, за якими визначають вагові коефіцієнти критеріїв щодо встановлених переваг або об'єднують різні думки, можуть приховувати ідеологічну основу прийняття рішення.

Метод Файн-Кінні

Стислий огляд

Широко застосовуваним методом оцінки професійного ризику є так званий метод Файн-Кінні. Отримані результати пропонуються до аналізу в зручній формі ступеня важкості шкоди за кольоровими індикаторами (табл. 5.15).

Сфера застосування

Метод застосовується у попередньому аналізі РНА та інших щодо визначення орієнтованого рівня ризику на робочому місці за суб'єктивними показниками.

Вхідні дані

Результати анкетування та опитування працівників.

Таблиця 5. 15 – Ступень важкості шкоди за кольоровими індикаторами^[24]

Імовірність	Ступінь важкості шкоди		
	Помірна	Середня	В край висока
В край неімовірно	Дуже легкий 1	Невеликий 2	Середній 3
Ймовірно	Невеликий 2	Середній 3	Високий 4
Високо ймовірно	Середній 3	Високий 4	В край високий 5

24. Viacheslav Berezutskyi, Natalia Berezutskaya. Indicators in risk management. Postęp w inżynierii bezpieczeństwa. Redakcja naukowa Krystyna A. Skibniewska, Marian Lutostanski [Monografy] . Wydawnictwo UWM ul. Jana Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn, - 2016. - P. 108-117. ISBN 978-83-7299-995-5

Процес виконання методу

Підхід, який використовується у цьому методі, заснований на комбінації ступеня схильності працівника до впливу шкідливого чинника на робочому місці, ймовірності виникнення загрози на робочому місці і наслідків для здоров'я та/або безпеки працівників у тому випадку, якщо загроза здійсниться.

Цей метод виражається формулою:

$$R = \text{Схильність} \cdot \text{Ймовірність} \cdot \text{Наслідки}. \quad (5.12)$$

У методі Файн-Кінні ступінь схильності варіюється від 0 (= ніколи немає схильності) до 10 (= постійна схильність), ймовірність варіюється від 0 (= абсолютно неможливо) до 10 (= це станеться), наслідки варіюються від 1 (= мінімальні пошкодження) до 100 (= катастрофа) згідно з таким.

Схильність:

- 10 – постійна;
- 6 – регулярна (щодня);
- 3 – час від часу (щотижня);
- 2 – іноді (щомісяця);
- 1 – рідко (щорічно);
- 0,5 – дуже рідко;
- 0 – ніколи.

Ймовірність:

- 10 – очікувано, що це трапиться;
- 6 – дуже ймовірно;
- 3 – незвично, але можливо;
- 1 – неймовірно;
- 0,5 – можна собі уявити, але неймовірно;
- 0,2 – майже неможливо;
- 0,1 – неможливо;
- 0 – абсолютно неможливо.

Наслідки :

- 100 – катастрофа, багато жертв;
- 40 – аварія, кілька жертв;
- 15 – дуже важкі, 1 людина загинула (відразу або через якийсь час);
- 7 – важкі, інвалідність;
- 3 – серйозні, травма та невихід на роботу;
- 1 – мінімальні, достатньо надання першої допомоги.

Проводити аналіз ризиків таким способом потрібно відповідно до класифікації ризиків у сфері ЗБР за ступенем серйозності.

Ризик :

- > 400 – вкрай високий ризик, негайне припинення діяльності;
- 200 - 400 – високий ризик, необхідні негайні удосконалення;
- 70 - 200 – серйозний ризик, необхідні удосконалення;
- 20 - 70 – можливий ризик, необхідно приділити увагу;
- 0 - 20 – невеликий, можливо прийнятний ризик.

Вихідні дані

Метод Файн–Кінні класифікує професійний ризик за п'ятьма групами:

- 1) дуже легкий;
- 2) невеликий;
- 3) середній;
- 4) високий;
- 5) вкрай високий.

Переваги та недоліки

Перевага методу – метод не потребує спеціальних знань фахівців, що проводять аналіз, а тому може бути використаний у будь-якій організації щодо попередньої оцінки ризиків на робочих місцях.

Недолік методу – у суб'єктивності оцінки, а тому – можливого значному рівні помилки.