

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

Пояснювальна записка

до магістерської дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Інформаційно-аналітична система аналізу ризиків для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки

Виконав: студент 2 курсу, групи ІСТ-23дм

126 «Інформаційні системи та технології»

(шифр і назва спеціальності)

Годящев М. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лифар В. О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Меняйленко О.С.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2024 року

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІТП

_____ д.т.н., проф., Захожай О. І.
(підпис)

« _____ » _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дипломну роботу студенту

Годящеву Максиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-аналітична система аналізу ризиків для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки

керівник роботи Лифар Володимир Олексійович, д.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу

від «06» 12 2024року №361/15.15-С

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2024
3. Вихідні дані до роботи: Матеріали науково-дослідної практики, науково-методична література; дані інтернет-мережі .
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - 4.1 Вступ
 - 4.2 Аналіз проблеми дослідження)
 - 4.3 Застосування чисельного ймовірнісного аналізу для оцінки техногенних ризиків.
 - 4.4 Розробка інформаційно-аналітичної моделі для оцінки техногенного ризику.
 - 4.5 Висновки
 - 4.6 Перелік використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (з точним значенням обов'язків креслень) _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 18 жовтня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з\п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження предметної галузі	25.10.2 – 28.10.24	
2	Пошук та аналіз існуючих рішень	29.10.24 – 04.11.24	
3	Застосування чисельного ймовірнісного аналізу для оцінки техногенних ризиків	05.11.24 – 15.11.24	
5	Розробка інформаційно-аналітичної моделі	16.11.24 – 24.11.24	
6	Тестування	24.11.24 – 02.12.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.12.24 – 05.12.24	
8	Підготовка та подання магістерської роботи до захисту	06.12.24 – 06.12.24	

Студент _____ Годящев М.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лифар В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дипломна робота: 52 стор., 9 рис., 3 таб., 19 джерел

Мета дослідження:

Розробка та впровадження інформаційно-аналітичної системи для оцінки ризиків на об'єктах із підвищеним рівнем небезпеки (ОПН) із використанням сучасних методів аналізу даних, таких як статистичні підходи, чисельний ймовірнісний аналіз та системи управління ризиками, зокрема CRAMM.

Актуальність теми:

Об'єкти підвищеної небезпеки, як-от магістральні трубопроводи, становлять потенційну загрозу для навколишнього середовища, інфраструктури та людського життя. В умовах зростання техногенних ризиків особливо важливою є автоматизація процесів аналізу та управління ризиками для забезпечення стабільної та безпечної роботи таких об'єктів. Інформаційно-аналітична система, заснована на методології CRAMM, дозволяє формалізувати процес ідентифікації ризиків, забезпечити їх кількісну оцінку та розробити ефективні стратегії зниження загроз.

Основні завдання:

1. Проведення огляду сучасних підходів до аналізу ризиків.
2. Розробка алгоритмів оцінки статистичних ризиків із використанням наявних даних про аварійність об'єктів.
3. Інтеграція чисельного ймовірнісного аналізу для оцінки ризиків у складній технічній системі.
4. Реалізація функціональних модулів для автоматизації аналізу ризиків та їх візуалізації.
5. Тестування та впровадження розробленої системи на прикладі ОПН,

таких як магістральні трубопроводи.

Методи дослідження:

Статистичний аналіз базується на емпіричних даних аварійності, оброблених методами Монте-Карло. Для побудови графіків функцій ризику застосовано чисельний ймовірнісний аналіз, який дозволяє моделювати різноманітні сценарії загроз.

Результати роботи:

У ході дослідження створено інформаційно-аналітичну систему, яка:

Інтегрує статистичний та ймовірнісний підходи до оцінки ризиків.

Забезпечує автоматизований розрахунок ключових параметрів ризиків для ОПН.

Розроблена система протестована на реальних даних про аварійність магістральних трубопроводів, що дозволило отримати кількісну оцінку ризиків, визначити найуразливіші точки системи та сформулювати рекомендації щодо зменшення їх впливу.

Практична значущість:

Система може бути використана для аналізу ризиків на підприємствах з об'єктами підвищеної небезпеки, таких як нафтогазові компанії, хімічні заводи чи транспортна інфраструктура. Це сприяє підвищенню рівня безпеки, оптимізації процесів управління ризиками та зниженню ймовірності техногенних катастроф.

ОПН , аналіз ризиків, ймовірнісний аналіз, інформаційно-аналітична система, Монте-Карло, магістральні трубопроводи.

Зміст

Зміст

ВСТУП.....	6
1 Аналіз проблеми дослідження	8
1.1 Ризик та невизначеність.....	8
1.1.1 Концепція ризику. Аналіз ризикових ситуацій	8
1.1.2 Класифікація ризиків	10
1.1.3 Інформаційно-аналітичний підхід щодо оцінки ризиків. Аналіз публікацій та існуючих систем	12
1.1.4 Техногенні ризики	14
1.2 Аварії на небезпечних виробничих об'єктах	16
1.2.1 Визначення можливих причин виникнення аварій. Складання сценаріїв аварій.	17
1.2.2 Соціальний ризик	19
1.2.3 Збитки та допустимий ризик	21
2 Застосування чисельного ймовірнісного аналізу для оцінки техногенних ризиків.....	22
2.1.1 Концептуальні моделі.....	22
2.1.2 Ймовірнісні моделі	23
2.2 Методи оцінки ризиків.....	24
2.2.1 Інтервальний аналіз.....	25
2.2.2 Методи імітаційного моделювання	27
2.3 Чисельний ймовірнісний аналіз для оцінки ризиків.....	30
2.3.1 Оптимізаційні моделі з випадковими змінними	31
2.3.2 Ймовірності другого порядку.....	31
2.4 Оцінка ризику з використанням чисельного ймовірнісного аналізу	34
2.5 Опис системи CRRAMM.....	36
3 Розробка інформаційно-аналітичної моделі для оцінки техногенного ризику	39
3.1 Алгоритм роботи з CRRAMM	39

3.2	Опис прикладу оцінки статистичного ризику	41
3.3	Інформаційно-аналітична система для оцінки ризиків з використанням чисельного ймовірнісного аналізу	42
	ВИСНОВОК.....	47
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Сучасні технології та інфраструктура значною мірою залежать від стабільної роботи об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), до яких належать магістральні трубопроводи, хімічні підприємства, електростанції та інші складні технічні системи. Несправності чи аварії на таких об'єктах можуть призвести до значних екологічних, економічних і соціальних наслідків, ставлячи під загрозу безпеку населення та навколишнього середовища. В умовах постійного зростання техногенних загроз та кліматичних змін особливо важливою стає розробка ефективних підходів до аналізу та управління ризиками, що дозволяють мінімізувати ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій.

Актуальність теми зумовлена необхідністю створення автоматизованих систем, які можуть забезпечити точний аналіз ризиків і оперативне прийняття рішень для зменшення їхнього впливу. Традиційні методи аналізу ризиків часто є трудомісткими та недостатньо ефективними для обробки великого обсягу даних і врахування численних факторів, які впливають на ймовірність аварій. Тому використання сучасних інформаційних технологій, зокрема методології CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method), дозволяє формалізувати процес оцінки ризиків, визначити пріоритети захисту та запропонувати оптимальні рішення для забезпечення безпеки ОПН.

Об'єктом дослідження є процеси аналізу та управління ризиками на об'єктах із підвищеним рівнем небезпеки. Предметом є інформаційно-аналітична система, яка інтегрує статистичні, ймовірнісні та чисельні методи оцінки ризиків із використанням сучасних підходів моделювання.

Метою роботи є розробка інформаційно-аналітичної системи, яка

забезпечить ефективний аналіз ризиків для ОПН та допоможе приймати обґрунтовані рішення щодо їхньої мінімізації.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. Розробка методики статистичного аналізу ризиків із використанням емпіричних даних про аварійність.

2. Інтеграція чисельного ймовірнісного аналізу для моделювання сценаріїв ризику та їхнього графічного відображення.

3. Реалізація програмного модуля для автоматизації процесу аналізу ризиків та його тестування на прикладі магістральних трубопроводів.

Методи дослідження включають аналіз літератури, статистичну обробку даних, чисельне моделювання методом Монте-Карло та використання програмних засобів для візуалізації результатів.

Наукова новизна роботи полягає у створенні комплексної інформаційно-аналітичної системи, яка поєднує методологію SRAMM із сучасними підходами чисельного аналізу для оцінки ризиків ОПН.

Практична цінність дослідження полягає у можливості застосування розробленої системи для підвищення рівня безпеки на підприємствах із об'єктами підвищеної небезпеки, що сприятиме зменшенню ймовірності техногенних катастроф та оптимізації процесів управління ризиками.

Таким чином, дана робота спрямована на вирішення актуальної проблеми забезпечення безпеки об'єктів підвищеної небезпеки шляхом розробки ефективної інформаційно-аналітичної системи аналізу ризиків із використанням сучасних технологій та методологій. .

1 Аналіз проблеми дослідження

1.1 Ризик та невизначеність

1.1.1 Концепція ризику. Аналіз ризикових ситуацій

Поняття «ризик» є багатогранним, і в науковій літературі немає єдиного загальновизнаного визначення цього терміна. Наведемо деякі з трактувань, запропонованих різними дослідниками:

- Ризик – можливість настання шкоди життю, здоров'ю, майну.
- Ризик - це дія (дія, вчинок), що виконується в умовах вибору (у ситуації вибору в надії на щасливий результат), коли у разі невдачі існує можливість (ступінь небезпеки) опинитися в гіршому становищі, ніж до вибору (ніж у разі не вчинення дії).
- Ризик – це діяльність, пов'язана з подоланням невизначеності у ситуації неминучого вибору, у процесі якої є можливість кількісно та якісно оцінити ймовірність досягнення гаданого результату, невдачі та відхилення від мети [3].

Для будь-якої ризикової ситуації повинні виконуватись такі умови:

- наявність невизначеності;
- необхідність ухвалення будь-якого рішення, включаючи відмову від вибору рішення;
- можливість визначити, з якою ймовірністю можуть відбутися прийняті рішення;

Невизначеність *неповнота* знань про явище чи об'єкт. Вона виникає з таких причин [12, 15]:

Недолік інформації чи знань – найчастіша причина виникнення невизначеності.

– Надлишок інформації чи знань – виникає через те, що людина може одночасно обробляти безліч джерел інформації.

– Суперечливість джерел інформації та знань – виникає тоді, коли нова інформація йде врозріз із попередньою.

– Помилки вимірів.

– Суб'єктивність думок оцінюють – виникає через різні точки зору об'єкт дослідження в різних дослідників.

– Спонтанність природних процесів та явищ.

– Випадковість виникає через те, що, на перший погляд, однакові події відбуваються зовсім по-різному.

Виділивши причини виникнення невизначеності, можна дізнатися про способи її зменшення. Наприклад, щоб зменшити суб'єктивність думок про об'єкт, необхідно збільшити кількість думок від різних дослідників. Надлишок можна ліквідувати, якщо сконцентруватися лише на найголовніших джерелах знань.

Невизначеність можна розділити на два типи:

– Еліторна невизначеність – тип невизначеності, зумовлений мінливістю об'єкта дослідження, і характеризується випадковістю, яка може бути представлена функціями розподілу. Цей тип невизначеності також називають

«Стохастичною», і саме з ним працює теорія ймовірності та інший математичний апарат з метою її зменшення.

– Епістемічна невизначеність - обумовлюється неповнотою знань про систему або об'єкт, характеризується невизначеністю самих імовірнісних оцінок. Іншими словами, неможливо виділити будь-які кількісні елементи, і тому цю невизначеність не можна зменшити.

За джерелом виникнення невизначеність можна розділити такі типи:

– Природна, що виникає у зв'язку з відсутністю повної інформації про

об'єкт дослідження, у зв'язку з чим не всі фактори, які можуть вплинути на результат, знаходяться під контролем і, отже, слід розглядати як випадкові процеси.

– Метрологічна, обумовлена похибками у визначенні значень впливаючи факторів.

– Поведінкова. Виникає через наявність цілеспрямованого впливу з боку протиборчої системи чи об'єкта, що також перебуває у стані невизначеності.

– Цільова. Виникає через неточне формулювання мети, що призводить до неоднозначного трактування кінцевого результату.

Слід зазначити, що ризикова ситуація не є невизначеною. Ситуація невизначеності характеризується тим, що ймовірність настання результатів рішень чи подій у принципі не встановлюється. Іншими словами, будь-який ризик несе в собі невизначеність, але не кожна невизначеність несе у собі ризик.

При дослідженні ризику для об'єкта, що розглядається, фактори об'єкта об'єднуються у вигляді змінних:

– Певні чинники – відомі із заданою точністю змінні.

– Невизначені фактори – невідомі із заданою точністю змінні.

Отже, ситуацію ризику можна охарактеризувати як різновид невизначеної у разі, якщо подія можна зробити оцінку ймовірності його виникнення [15].

Таким чином, можна сказати, що попередження аварій та подій, а також оцінка ймовірної шкоди від них – перспективний та необхідний напрямок досліджень.

1.1.2 Класифікація ризиків

На сьогоднішній день, як у випадку з формулюванням поняття «ризик», не існує чіткої класифікації ризиків. У певних сферах діяльності можна знайти об'ємні, але при цьому зовсім різні класифікації та визначення одним, на перший погляд, і тим поняттям. Найбільш факторами, які намагаються виділити фахівці, такі [7, 15]:

- час виникнення: ретроспективні, поточні та перспективні;
- характер наслідків: чисті (несуть втрати) та суб'єктивні (несуть як втрати, так і прибуток);
- сфера виникнення: підприємницькі, страхові, екологічні, гідрологічні, технологічні;
- масштаб наслідків: глобальні, регіональні, місцеві;
- ступінь небезпеки: припустимі, критичні, катастрофічні.

Виходячи з сказаного вище, стає зрозуміло, що виникає бажання дати кількісну оцінку ризику і якимось чином використовувати її для запобігання ризиковій ситуації. Оцінка ризику є процесом, що поєднує ідентифікацію, аналіз ризику та порівняльну оцінку ризику. Ідентифікація ризику - процес визначення елементів ризику, складання їх переліку та описи кожного з елементів ризику.

Аналіз ризику- аналіз та дослідження інформації про ризик. Аналіз ризику забезпечує вхідні дані процесу загальної оцінки ризику, допомагає у прийнятті рішень щодо необхідності обробки ризику, а також допомагає вибрати відповідні стратегії та методи обробки ризику.

Порівняльна оцінка ризику - зіставлення рівня ризику з критеріями ризику з метою визначення типу ризику та його значущості.

Для оцінки ризику існує безліч методів, як якісних, так і кількісних, таких як мозковий штурм, статистичні методи та ін.

Основною метою оцінки ризику є подання на основі об'єктивних свідчень інформації, необхідної для ухвалення обґрунтованого рішення щодо

способів обробки ризику.

Оцінка ризику забезпечує:

- розуміння потенційних небезпек та впливу їх наслідків на досягнення встановлених цілей;
- отримання інформації, яка потрібна на прийняття рішень;
- розуміння небезпеки та її джерел;
- ідентифікацію ключових факторів, які формують ризик;
- можливість порівняння ризику з ризиком альтернативних організацій, технологій, методів та процесів;
- обмін інформацією про ризик та невизначеності;
- інформацію, необхідну ранжування ризику;
- запобігання нових інцидентів на основі дослідження наслідків інцидентів;
- вибір методів обробки ризику;
- отримання інформації, необхідної для обґрунтованого рішення щодо прийняття ризику відповідно до встановлених критеріїв;
- оцінку ризику усім стадіях життєвого циклу продукції.

1.1.3 Інформаційно-аналітичний підхід щодо оцінки ризиків.

Аналіз публікацій та існуючих систем

Інформаційно-аналітичний підхід це комплексний метод обробки інформації, в якому можна виділити такі етапи:

- ознайомлення із предметом дослідження;
- визначення термінів та понять;
- збір фактів;
- побудова гіпотези;
- висновки із гіпотези;

– виклад висновків;

Оцінка техногенного ризику – особливо актуальна у час тема, у зв'язку з тим, що до об'єктів, у яких можливий техногенний ризик, ставляться об'єкти особливої важливості – гідроелектростанції, ядерні станції тощо. Інакше кажучи, об'єкти, у яких можливі катастрофи державного масштабу. У зв'язку з переліченим вище, оцінка техногенного ризику є предметом аналізу безлічі статей різних авторів.

Аналіз статей, пов'язаних з оцінкою ризику, показав, що багато авторів часто не враховують імовірнісну природу ризику, а саме високий рівень невизначеності.

Є й винятки. Проаналізовані статті пропонують цікаві рішення щодо оцінки, як, наприклад, побудова полів ризику [11] - у виробничій практиці часто використовується схожий метод з оцінки радіусу вибухів з виробництва. Деякі автори пропонують використовувати нечіткі множини і логіко-ймовірнісний підхід [5].

Оцінка ризику зводиться до наступного [1]:

– Якісний аналіз усіх можливих ризиків, з якими може зіткнутися підприємство під час реалізації проекту.

– Якісний аналіз ризику (побудова деревини проблем);

– Аналіз беззбитковості проекту;

– Аналіз чутливості економічних результатів до зміни основних параметрів проекту (ціна реалізації продукції, ціна на сировину та матеріали тощо) на момент виходу на повну потужність.

В результаті аналізу літератури та існуючих програм можна зробити такий висновок:

– Найпопулярніший метод оцінки ризику – дерево рішень. Однак, цей метод не дає повною мірою оцінити ризик, але лише ідентифікувати небезпеку.

– Багато авторів не беруть до уваги ймовірнісну природу ризику, що також негативно впливає на результат.

– Існуючі методи, що використовуються в оцінці ризику, ґрунтуються на нормативній документації, що не дає повною мірою вважати результат достовірним.

1.1.4 Техногенні ризики

Техногенна небезпека - стан, внутрішньо властивий технічній системі, промислового або транспортного об'єкту, що реалізується у вигляді вражаючих впливів джерела техногенної надзвичайної ситуації на людину та навколишнє середовище при її виникненні, або у вигляді прямої або непрямой шкоди для людини та навколишнього середовища в процесі нормальної експлуатації цих об'єктів [10].

Відповідно, техногенний ризик – це можливість виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру, а також величина її наслідків. З ймовірнісного погляду техногенний ризик

$$R_T = \frac{\Delta T(t)}{T(f)}$$

де R_T – техногенний ризик; ΔT – число аварій в одиницю часу t на ідентичних технічних системах [10] та об'єктах; T – число ідентичних технічних систем та об'єктів, схильних до загального фактора ризику f [10].

Об'єкти, на яких можлива техногенна аварія, належать до небезпечних виробничих об'єктів.

– виходять, використовуються, переробляються, утворюються, зберігаються, транспортуються, знищуються небезпечні речовини (гази, легкозаймисті рідини, вибухові, токсичні речовини тощо);

– використовується обладнання, що працює під надлишковим тиском понад 0,07 МПа;

– використовуються стаціонарно встановлені вантажопідйомні механізми (за винятком ліфтів, підйомних платформ для інвалідів), ескалатори у метрополітенах, канатні дороги, фунікулери;

– виходять, транспортуються, використовуються розплави чорних та кольорових металів, сплави на основі цих розплавів із застосуванням обладнання, розрахованого на максимальну кількість розплаву 500 кілограмів та більше;

– ведуться гірничі роботи, роботи зі збагачення корисних копалин;

– здійснюється зберігання або переробка рослинної сировини, в процесі яких утворюються вибухонебезпечні пилоповітряні суміші, здатні самозайматися, спалахувати від джерела загоряння та самостійно горіти після його видалення, а також здійснюється зберігання зерна, продуктів його переробки та комбікормової сировини, схильних до самозігрівання та самозаймання.

З цього можна зробити висновок, що ОПН – такий об'єкт, на якому висока ймовірність виникнення аварій або аварійних ситуацій на виробництві, які можуть спричинити велику небезпеку.

За даними критеріями до ОПН можна віднести, наприклад, такі галузі промисловості: вугільна, газова, нафтова, гідротехнічна тощо. Дані галузі об'єднує те, що за їх експлуатації висока ймовірність виникнення аварій та інцидентів.

1.2 Аварії на небезпечних виробничих об'єктах

Аналіз аварій та причин їх виникнення допоміг зробити такі висновки.

Аварії виникають з причин характеру, які можна згрупувати так:

- технічні причини (27% від усіх причин);
- організаційні причини (18% від усіх причин);
- поєднання організаційних та технічних причин (55% від усіх причин).

Серед технічних причин переважало порушення технології процесу:

- зовнішні дії;
- корозійні ушкодження;
- дефекти труб;
- несправність або відсутність мереж зв'язку та пожежної сигналізації.

Серед причин організаційного характеру:

- порушення вимог технологічного режиму;
- відсутність чи недостатній контроль за об'єктом;
- недотримання вимог норм та правил пожежної та промислової безпеки.

Зазвичай до аварії веде безліч причин. Недостатня оцінка небезпеки, незнання можливих сценаріїв розвитку аварій та неправильна організація дій персоналу найчастіше стають причиною нещасних випадків.

Слід зазначити, що в більшості випадків аварії призводили до великої шкоди як в економічному сенсі, так і в плані шкоди здоров'ю працівникам ОПН, аж до смерті.

1.2.1 Визначення можливих причин виникнення аварій. Складання сценаріїв аварій.

Процеси, що протікають на небезпечних виробничих об'єктах, належать до потенційно небезпечних. Наприклад, на кущових майданчиках найбільша ймовірність виникнення у аварій, які пов'язані з розгерметизацією та викидом шкідливих речовин, що надалі може призвести до пожеж, вибуху та забруднення об'єкта.

Можливими джерелами виникнення аварій на ОПН можуть бути будь-які технологічні об'єкти та ємності, що містять небезпечні речовини.

- обладнання свердловин;
- технологічні трубопроводи;
- промислові трубопроводи;
- запірні арматури, фланцеві з'єднання.

Причини виникнення аварійних ситуацій умовно можна об'єднати в такий спосіб: відмови обладнання, помилкові дії персоналу, зовнішні дії природного та техногенного характеру.

Розглянемо можливі причини, які можуть спричинити виникнення аварії на ОПН, а також коротко проаналізуємо можливі наслідки.

Таблиця 1.1 - Небезпеки на ОПН

Тип	Небезпеки	Причина аварії	Наслідки
1	2	3	4
Небезпеки, пов'язані з типовими процесами	Висока продуктивність обладнання, робота з високими показниками температури та тиску.	Порушення технологічного режиму або аварійна зупинка обладнання, помилки при	Порушення гідравлічного або теплового масообміну, витік горючих рідкостей та газів,
	Наявність слівної конструкції, значний об'єм речовин. Фізичний знос, корозія,	проектування, гідроудари, спричинені зміною режиму роботи.	розгерметизація газів, може призвести до вибухам та погарям
	механічні пошкодження. Припинення подачі енергоресурсів.		
Помилкові дії персоналу	Недостатній рівень автоматизації, низька кваліфікація персоналу, недбалість, відсутність систем прийняття рішень, неадекватне сприйняття інформації, що отримується від приладів контролю.	При недостатньо високому рівні автоматизації технологічний процес потребує підвищеної кваліфікації персоналу та підвищеної уваги. Також помилки персоналу ведуть до механічних пошкоджень обладнання.	У разі неправильних дій можлива розгерметизація системи, виведення ладу.
Зовнішнє вплив	Слоєно передбачити, ні можливості	Аварії на сусідніх об'єктах,	Можлива розгерметизація
Природного та техногенного характеру	запобігти.	механічні пошкодження обладнання внаслідок позаштатних ситуацій.	системи, висновок обладнання з ладу.

Під сценарієм можливої аварії мається на увазі послідовність логічно пов'язаних окремих подій, зумовлених конкретною подією, що ініціює (наприклад, руйнування обладнання).

1.2.2 Соціальний ризик

Соціальний ризик визначає залежність частоти реалізації несприятливих подій F , у яких загинуло щонайменше N від цієї кількості людина[7]. Даний тип ризику описується функцією розподілу втрат (збитків), також відомою як F/N -діаграма.

Соціальний ризик рекомендується представляти у вигляді графіка ступінчастої функції $F(x)$, що задається рівнянням

$$F(x) = \sum_{j=1}^{N(x)} Q_j^x \quad (1.1)$$

де Q_j^x – очікувані частоти реалізацій аварійних ситуацій C_j , у яких гине щонайменше x людина; $N(x)$ – число сценаріїв C_j , у яких гине щонайменше x людина. Рекомендується побудова кривої соціального ризику як ступінчастої, безперервної зліва, функції $F(x)$ з

сходінками в цілісних значеннях аргументів коли

$$F([N_j]) = F(N_j) \frac{N_j}{[N_j]} \quad (1.2)$$

де $[N_j]$ – найближче більше ціле число до значення очікуваного числа загиблих N_j при реалізації j -го сценарію; $F(N_j)$ – сума частот сценаріїв з очікуваним числом загиблих не менше N_j . Частота аварії з загибеллю щонайменше одну людину дорівнює $R_1 = F(1)$

Інтегральна функція розподілу людських втрат є розривною ступінчаста функція, стрибки якої відбуваються в точках, що відповідають можливим значенням випадкової величини N , і дорівнюють ймовірностям цих значень. Розглянемо приклад побудови діаграми. Нехай дані ймовірності сценаріїв аварій на ОПН Q_i відповідні їм кількості загиблих N

Таблиця 1.2 – Дані для побудови F/N-діаграми

Кількість загиблих N, чел.	Частота сценарію аварії Q, 1/рік	Сума частот сценаріїв F з числом загиблих, що обходиться, не менше N, 1/рік
1	2	3
1	2,00E-06	1,68E-05
2	1,00E-06	1,48E-05
3	1,10E-07	1,38E-05
4	1,10E-06	1,36E-05
8	5,00E-06	1,25E-05
10	1,10E-07	7,54E-06
11	1,10E-07	7,43E-06
15	5,00E-07	2,43E-06
19	1,00E-06	2,32E-06
21	2,40E-08	1,32E-06
100	4,90E-07	1,07E-06
27	2,30E-07	1,30E-06
100	4,90E-07	1,07E-06

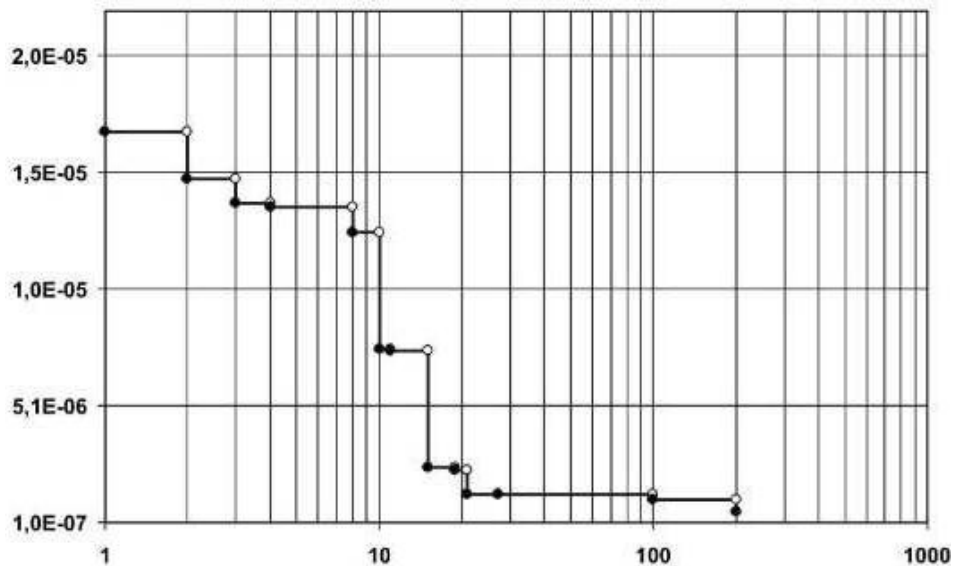


Рисунок 1.1 – Приклад інтегральної функції розподілу числа загиблих під час аварії на ОПН

Слід зазначити, що сума частот сценаріїв F у цьому прикладі

усереднена у зв'язку з імовірнісною природою ризику.

1.2.3 Збитки та допустимий ризик

Збитки – це результат ризикової події, що виражається в порушенні цілісності об'єкта, а також економічні (гроші на відновлення об'єкта) та інші втрати (людські життя та ін.) Поняття шкоди – економічна кількісна величина, виражена підсумковою вартістю. оцінені наслідки.

Мета оцінки збитків - визначення його величини у грошовому чи матеріальному еквіваленті.

У зв'язку з тим, що створити абсолютну безпеку на об'єкті та уникати шкоди, зважаючи на високу невизначеність ризику, неможливо, було розроблено концепцію допустимого (прийняттого) ризику[6].

Допустимий ризик - ризик, рівень якого допустимо виходячи з соціально-економічних міркувань. Ризик експлуатації об'єкта є прийнятним, якщо заради вигоди, яка отримується від експлуатації об'єкта, суспільство готове піти на цей ризик. Іншими словами, соціальний ризик встановлює кордон, який не можна перетинати: все, що вийде за кордон, буде неприпустимим.

Слід зазначити, що єдиного для громадськості свідчення соціального ризику на даний момент встановлено. Пропоновані значення відрізняються від 10^{-3} до 10^{-8} . Рекомендовані значення допустимого ризику населення змінюються в діапазоні від 10^{-5} до 10^{-7} . Однак, у особливих випадках, допустимий ризик може зменшуватись більш ніж на 10 порядків.

2 Застосування чисельного ймовірнісного аналізу для оцінки техногенних ризиків

2.1 Моделі оцінки ризиків

Оцінюючи ризику використовується той чи інший математичний апарат. Найбільш поширеним, але не єдиним є підхід на основі теорії ймовірності. Однак, залежно від обраної моделі та методу, це можуть бути методи статистики, методи інтервальної арифметики тощо. Результатом застосування моделі є опис ризику, найчастіше у вигляді відношення між величиною події та ймовірністю її виникнення [12].

2.1.1 Концептуальні моделі

Концептуальна модель - тип моделей, записаний природною мовою з використанням логіки і міркувань, що відображає певний аспект об'єкта .

Концептуальна модель складається з трьох ключових складових – об'єктів, властивостей об'єктів та взаємозв'язків між ними. Зазвичай такого роду моделі є остаточними і лише слухають до створення глибших математичних моделей.. Найближчою до такого визначення буде модель «Сутність-зв'язок».

Основне завдання концептуальних моделей – це глибше розуміння предметної галузі. Концептуальні моделі дозволяють відокремити досліджуваний матеріал від схожих тем, дозволяючи при цьому відкривати в досліджуваному нові речі. Як приклад концептуальної моделі ризику можна навести статтю [9].

Це ж є і мінусом концептуальних моделей – вони лише дають зразкову виставу, концепцію ризику, але не можуть дати на виході ймовірність його наступу.

2.1.2 Імовірнісні моделі

У імовірнісній моделі ризику оцінка зводиться до обчислення ймовірності. Інакше кажучи, ризик у цій моделі – це безрозмірна величина межах від 0 до 1. Такі моделі зазвичай ставляться до типу «Чорна скринька», коли відомі лише вхідні та вихідні дані.

Як і в будь-якій іншій моделі, оцінка ризику будується на двох базисах: можливості настання небажаної події та шкоди. У разі, припустимо, що X – це випадкова величина гаданого збитку, причому $X > 0$. Ця величина описується випадковою функцією розподілу:

$$F(x) = P(X < x) \quad (2.1)$$

де x – дійсне число, $P(X < x)$ – ймовірність випадкової події ($X < x$).

Імовірнісні моделі поділяються на параметричні та непараметричні. У першому випадку функція розподілу є нормальним, експоненціальним та ін. розподілом. Однак, у реальних дослідженнях таке відбувається рідко, тому в більшості випадків використовують непараметричні моделі – у них немає чіткої приналежності до будь-якої родини розподілів.

Зазвичай при оцінці ризику намагаються відійти від функції, що описує нескінченно велику кількість параметрів, до кількох числових параметрів, у разі – одного. І тому оцінці розглядають такі характеристики функції, як математичне очікування, медіану, дисперсію, середнє квадратичне відхилення тощо. Тоді під оцінкою шкоди можна мати на увазі оцінку будь-якої характеристики. Зазвичай оцінок використовуються емпіричні дані [14].

Функція розподілу у разі має інтегральний вид:

$$R = \int kD(x)dF(x) < R_a \quad (2.2)$$

де D – рівень відповідних небезпечних впливів на людину, F – ймовірність виникнення небезпечних ситуацій, k – коефіцієнт, що зв'язує D та F . R_a – нормативний показник ризику, який не можна перевищувати.

Можна виділити два типи ймовірнісних моделей:

– Параметричні, коли функція розподілу входить у одне із сімейств відомих розподілів – нормальних, експоненціальних, трикутних тощо.

– Непараметричні, коли функція розподілу є безперервною функцією числового аргументу.

Проблема статистичних методів стосовно емпіричних даних виникає тоді, коли спостереження вважаються випадково-незалежними і виражаються змінними з певним розподілом, що насправді рідко зустрічається при спостереженнях. вважається, що деяке відхилення від теорії помилок не є суттєвим. статистичний аналіз не в змозі замінити спостереження за об'єктом (іншими словами – замінити збирання емпіричної інформації), особливо через

помилкових та систематичних помилок, які неможливо виключити за допомогою статистики. Статистичними методами можна характеризувати лише випадкові помилки.

2.2 Методи оцінки ризиків

Методи оцінки ризику можна розділити на два типи: якісні та кількісні. Якісний аналіз здійснюється з метою ідентифікувати чинники ризику, етапи та роботи, і під час яких ризик виникає, тобто. встановити потенційні сфери ризику, після чого ідентифікувати всі можливі ризики. Серед якісних методів слід виділити метод аналогій, суть якого полягає в аналізі всіх наявних даних за не менш ризикованими аналогічними проектами, вивченні наслідків впливу на них несприятливих факторів з метою визначення потенційного

ризикі при реалізації нового проекту. Також варто виділити методи експертних оцінок ризику - це методи прогнозування та аналізу ризиків, які ґрунтуються на висновках експертів, які мають досвід реалізації. Насправді найчастіше використовується метод дерева проблем.

Кількісний підхід до аналізу проектних ризиків виходить з інформації, отриманої під час якісного аналізу, і передбачає чисельне визначення окремих ризиків та ризику проекту загалом. На цьому етапі визначаються чисельні значення ймовірностей настання ризикових подій та їх наслідків, здійснюється кількісна оцінка ступеня ризику, визначається допустимий у цій обстановці рівень ризику. Дані методи використовують апарат математичної статистики, теорії ймовірності та інших галузей математики [5].

2.2.1 Інтервальний аналіз

Оцінюючи кінцевий результат спостережень, часто доводиться стикатися з тим, що неможливо однозначно визначити точне значення певного елемента, а лише певні межі, в яких він знаходиться.

Під інтервальним числом будемо розуміти відрізок дійсних чисел $[a, a]$, де $a \leq a$ [18].]. Безліч інтервальних чисел будемо позначати через R . Надалі називатимемо інтервальні числа просто інтервалами.

Інтервальні числа досить часто використовуються для чисельних оцінок різних проблем в умовах невизначеності, коли для вхідних параметрів відомі лише інтервальні межі функції розподілу. В англійській літературі такий підхід отримав назву P -box, які також називають інтервальними функціями розподілу, максимумі, середньому та дисперсії даних або поєднанні цих даних.

Інтервальний аналіз націлений визначення меж розподілів і, не

говорить про розподіл випадкової величини всередині інтервалу. У цьому інтервальному аналізі часто дає ширші межі, у зв'язку з ніж невизначеність в інтервальних функціях виражена з погляду інтервалів.

Задається інтервальна функція розподілу граничними умовами:

$$\underline{F}(x) \leq \overline{F}(x), \quad (2.3)$$

де $\underline{F}(x), \overline{F}(x) \in [0,1]$ – деякі функції розподілу.

Розглянемо інтервальну функцію розподілу для змінних U , V і W . Моделювання змінної U з цією інтервальною функцією стверджує, що додаткова функція розподілу U незалежно від того, яка вона знаходиться в області обмеженої межами інтервалу. Функція для змінної V вироджена тому, що межі збігаються і еквівалентні точної функції розподілу. Функція для змінної W також вироджена, але носій випадкової величини, у разі, повністю в інтервалі, але жодна інша інформація про нього невідома [9]. Фрагменти графіків можна побачити на рисунку 2.1.

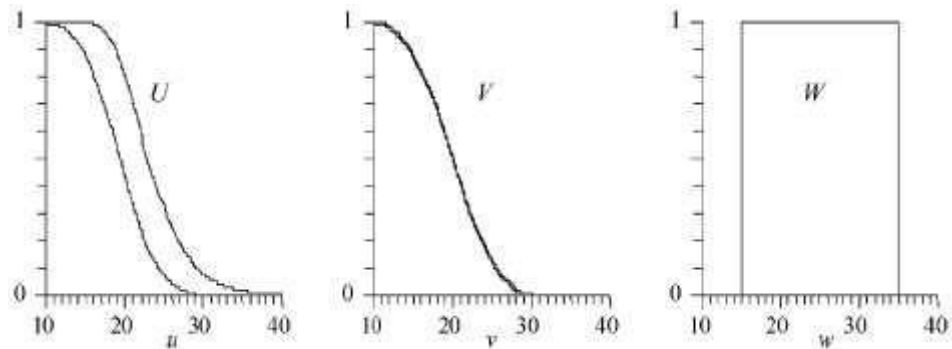


Рисунок 2.1 – Фрагменти інтервальних функцій розподілу, що виражають різні ступені невизначеності.

На жаль, інтервальний підхід має деякі мінуси. Інтервальні функції розподілу зберігають мало інформації про внутрішню структуру розподілу, що ускладнює вирішення деяких завдань, коли межі близькі до вертикальних.

Також при використанні інтервального підходу можлива втрата інформації, особливо часто про найбільш ймовірні значення [12].

Приклад щільності ймовірності, отриманий методом інтервального аналізу, можна побачити на рисунку 9. Ці дані можна згодом використати для оцінки ризиків.

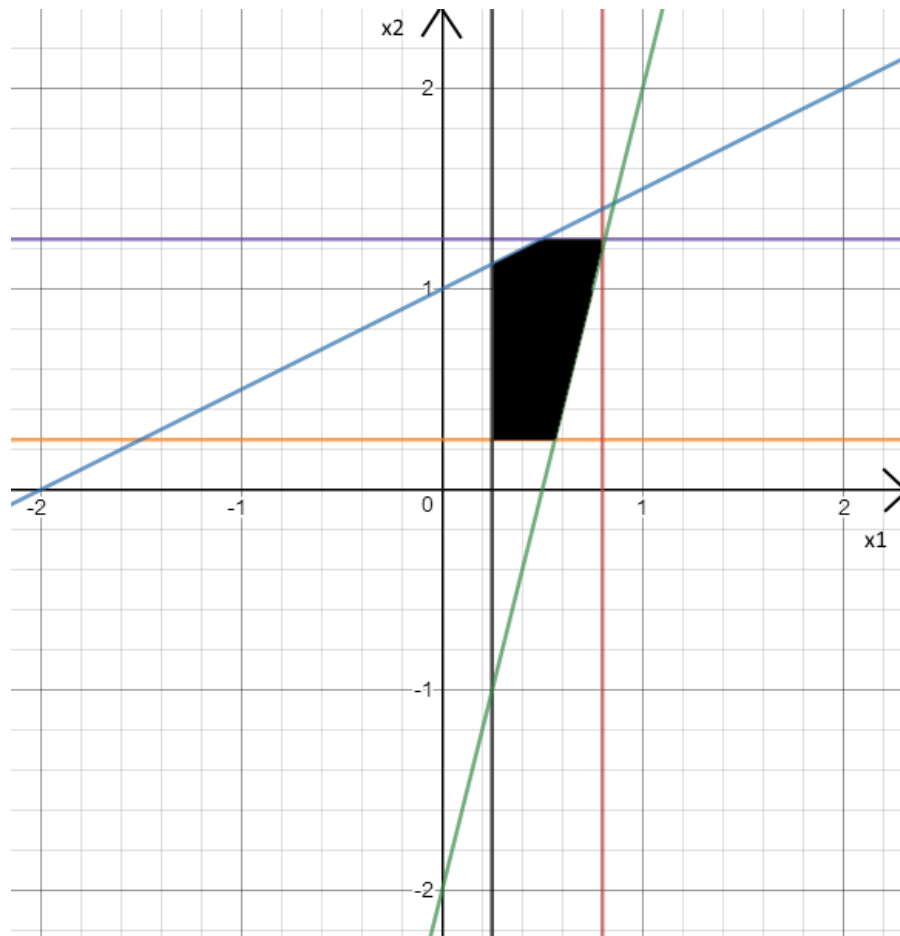


Рисунок 2.2 – Безліч рішень методом інтервального аналізу

2.2.2 Методи імітаційного моделювання

Методи невизначеності характеризуються заміною існуючої невизначеності даних деякими ймовірнісними розподілами, які далі моделюються шляхом безлічі випробувань і далі обчислюються за

допомогою значень функції і т.д., за результатами яких будуються позовні оцінки функції та розв'язання рівнянь [15].

На сьогоднішній день найбільш популярним та затребуваним при оцінці ризиків є метод Монте-Карло. У цьому методі генеруються безліч можливих комбінацій параметрів з урахуванням їхнього розподілу. Кожна комбінація дає своє, при цьому, можливо, не унікальне значення, і в результаті виходить імовірнісне розподіл теоретичних результатів. Метод Монте-Карло застосовується практично до будь-якої стохастичної системи. У цьому опис поведінки цієї системи часто безпосередньо дає алгоритм моделювання.

Однак цей метод не ідеальний. Можна виділити основні проблеми цього методу. Основні проблеми кожного методу [4]:

– Більшість завдань, які вимагають оптимальних відповідей, мають високу складність, тому вирішення таких завдань займе тривалий час і вимагатиме багато ресурсів.

– Статистичне моделювання не забезпечує гарантованості та доказовості відповідей, що є головною проблемою методу.

Останнє твердження можна довести з прикладу тривимірної системи Ноймайера

$$\begin{pmatrix} 3,4 & [0,2] & [0,2] \\ [0,2] & 3,4 & [0,2] \\ [0,2] & [0,2] & 3,4 \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} [-1,1] \\ [-1,1] \\ [-1,1] \end{pmatrix}$$

як сильно відрізняється статистичне безліч рішень

$$\begin{pmatrix} [-1,205; & 1,242] \\ [-1,348; & 1,261] \\ [-1,232; & 1,287] \end{pmatrix}$$

від оптимального

$$\begin{pmatrix} [-1,764; 1,764] \\ [-1,764; 1,764] \\ [-1,764; 1,764] \end{pmatrix}$$

Ця картина лише посилюється зі збільшенням розміру завдання.

Однак, що відповідь на завдання, ймовірність правильності якого вище за певний поріг (наприклад, 99,99%), можна вважати «практично достовірними». Чим більше число змінних у функції, тим краще ймовірнісні розподіли перетворюються на розподіли, щільність ймовірності якого зневажливо мала біля межі області. Інакше кажучи, «середні» значення виникають набагато частіше, ніж крайні. Це виникає тому, як далі пояснюється у статті, що середні значення виникають на більшій кількості операндів, ніж крайні значення результату.

Можна порівняти результати статичного моделювання лінійної системи Барта-Нудінга, отримані шляхом статистичного моделювання та оптимальні оцінки (рисунок 2.3 та 2.4).

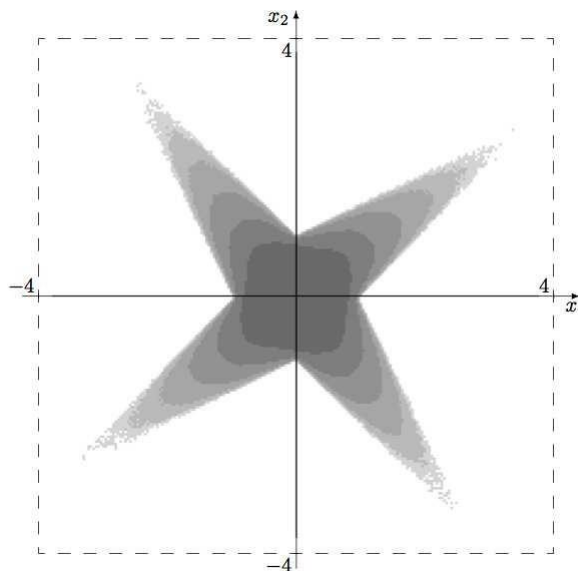


Рисунок 2.3 – Емпірична густина ймовірності системи Барта-Нудінга, отримана шляхом статистичного моделювання

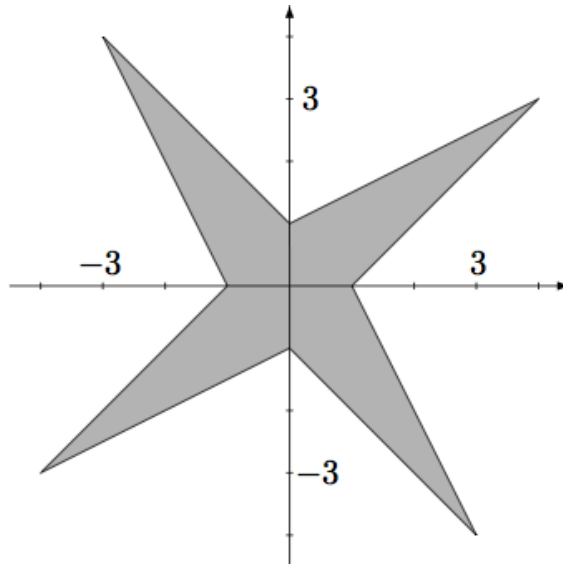


Рисунок 2.4 – Безліч рішень системи Барта-Нудінга

2.3 Чисельний ймовірнісний аналіз для оцінки ризиків

Як вусі було сказано, найбільш достовірним уявленням невизначеності в даних є функція щільності ймовірності.

Але оскільки на практиці виникає необхідність здійснювати операції над щільностями ймовірностями, у тому числі зведення в ступінь, перебування екстремумів, то розробка ефективних чисельних методів на сьогоднішній день є особливо актуальним завданням [17].

Для розв'язання даних завдань пропонується використовувати чисельний ймовірнісний аналіз (ЧЙА) – відносно новий розділ обчислювальної математики, що спеціалізується на розв'язанні задач в умовах невизначеності. Зокрема, в умовах еліторної та епістемістичної невизначеності з використанням операцій над густиною ймовірностей випадкових величин, а також їх функцій розподілу.

ЧВА успішно застосовується для ймовірнісного опису систем за умов невизначеної інформації, в тому числі, коли параметри системи мають

стохастичну природу. Чисельний ймовірнісний аналіз та його похідні дозволяють вирішувати завдання, зокрема, оцінювати ризики за умов стохастичної невизначеності, у тисячу разів швидше, ніж метод Монте-Карло [16].

ЧВА особливо добре при використанні в тих моделях, де функція щільності ймовірності виражена формулою. Тоді стає можливим, використовуючи гістограмне розширення, перейти до гістограмної арифметики. При цьому оцінка точності також підвищується на кілька порядків тому, що аналіз проводиться не з постійними значеннями.

2.3.1 Оптимізаційні моделі з випадковими змінними

Чисельний ймовірнісний аналіз дозволяє чисельно прогнозувати стан складних систем. Як приклад пропонується розглянути метод оптимізації вироблення електричної енергії на гідроелектростанції за умов еліторної невизначеності. Метод заснований на використанні арифметики над щільностями випадкових величин та вирішенні систем лінійних рівнянь алгебри з випадковими коефіцієнтами.

2.3.2 Ймовірності другого порядку

Чисельний ймовірнісний аналіз є ще один спосіб поширення інформаційної невизначеності, у тому числі для завдань, коли ймовірнісні оцінки вхідних параметрів носять невизначений характер. З метою зниження рівня інформаційної невизначеності та отримання додаткової інформації про розподіл параметрів в умовах інформаційної недостатності пропонується використовувати гістограмний підхід. Для вирішення таких завдань можна використовувати інтервальні гістограми та гістограми другого порядку. У

випадках, коли немає можливості отримати точну функцію розподілу випадкової величини, задають оцінки щільності розподілу зверху і знизу. Такі оцінки зручно апроксимувати інтервальними гістограмами. Гістограму називатимемо інтервальною, якщо значення гістограми набувають інтервальних значень.

Найчастіше під час досліджень доводиться вирішувати завдання, у яких ймовірнісні оцінки вихідних даних мають високий рівень невизначеності. Чисельний ймовірнісний аналіз пропонує для вирішення такого роду завдань використовувати гістограми двох видів: інтервальні та гістограми другого порядку. Вибір гістограм не випадковий ними дуже зручно апроксимувати оцінку щільності розподілу у випадках, коли точна функція невідома.

– Інтервальна гістограма – значення гістограми є інтервалами.

– Гістограма другого порядку значення гістограми є гістограмами.

Інакше кажучи, такі гістограми показують ймовірності другого порядку – ймовірність виникнення ймовірності.

Припустимо, що випадкова величину S_t , має трикутний розподіл P_t на відрізку $[0,1]$, висота $h=2$ і вершина в деякій точці $(t,2)$, де t - випадкова величина з трикутним розподілом на відрізку $[0.25,0.5]$ вершиною $(0.5,4)$. Даний розподіл (іншими словами – випадкова величина S_t) показано рисунок 2.5.

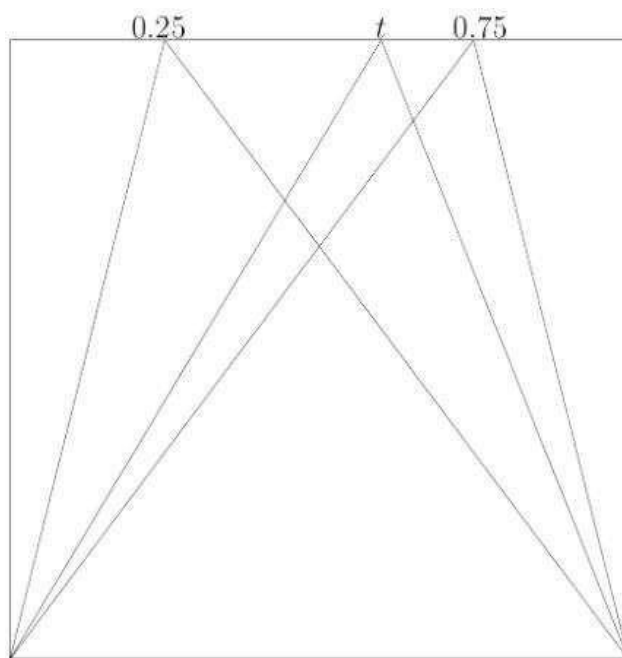


Рисунок 2.5 – Безліч трикутних розподілів

На рисунку 2.6 наведена гістограма другого порядку, де відтінками сірого показано розподіл ймовірностей. Інтервальний розподіл (максимальний та мінімальний P для всіх t) зображено граничними лініями. Внутрішня лінія визначає ефективну щільність ймовірності гістограми другого порядку - математичне очікування щільності ймовірності P_t у точці x [19].

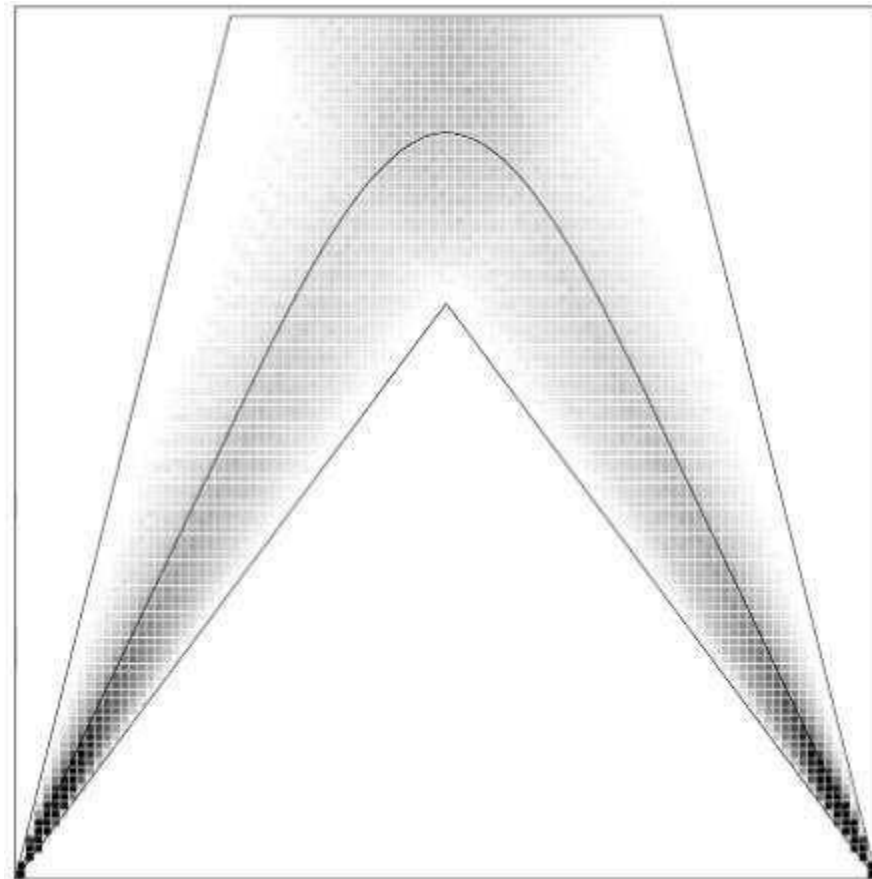


Рисунок 2.6 – Гістограма другого порядку для параметра S

2.4 Оцінка ризику з використанням чисельного імовірнісного аналізу

Детально розглянувши попередні параграфи можна помітити, що оцінка ризику, яка прописана в нормативних документах, містить Безліч невизначеностей. Наприклад, 100 людей перебувають у зоні аварії, при цьому очікується, що загине 10 людей. Згідно з нормативними документами, саме ці 10 осіб і будуть значенням функції соціального ризику. Але очевидним є питання: хіба не може загинути не 10, а, наприклад, 11 осіб, або навіть 12, з урахуванням того, що в зоні аварії їх перебуває 100? Понад те, відповідно до нормативної документації, частота аварії становить 1 аварія разів у 100 тисяч

років, Насправді частота – також випадкова величина, яку треба враховувати [19].

Швидкість збіжності емпіричної функції розподілу математичної статистики визначається з допомогою теореми Колмогорова. Нехай $\Xi = x_1, x_2 \dots x_n$ - речові випадкові величини з функцією розподілу F , $F(n)$ є емпірична функція розподілу,

побудована на \div . Тоді $\sqrt{n} \overline{SUP} |F - F_n| \rightarrow K, n \rightarrow \infty, x \in R,$ де K — випадкова величина з розподілом Колмогорова. На основі цієї теореми будується інтервальна функція розподілу (P-box), що містить функцію розподілу F з ймовірністю γ для $n \rightarrow \infty$:

$$F(x) \in F_n(x) + [-\Delta, \Delta]$$

де $\Delta = kv$ та kv визначається як рішення рівняння $K(kv) = \gamma$.

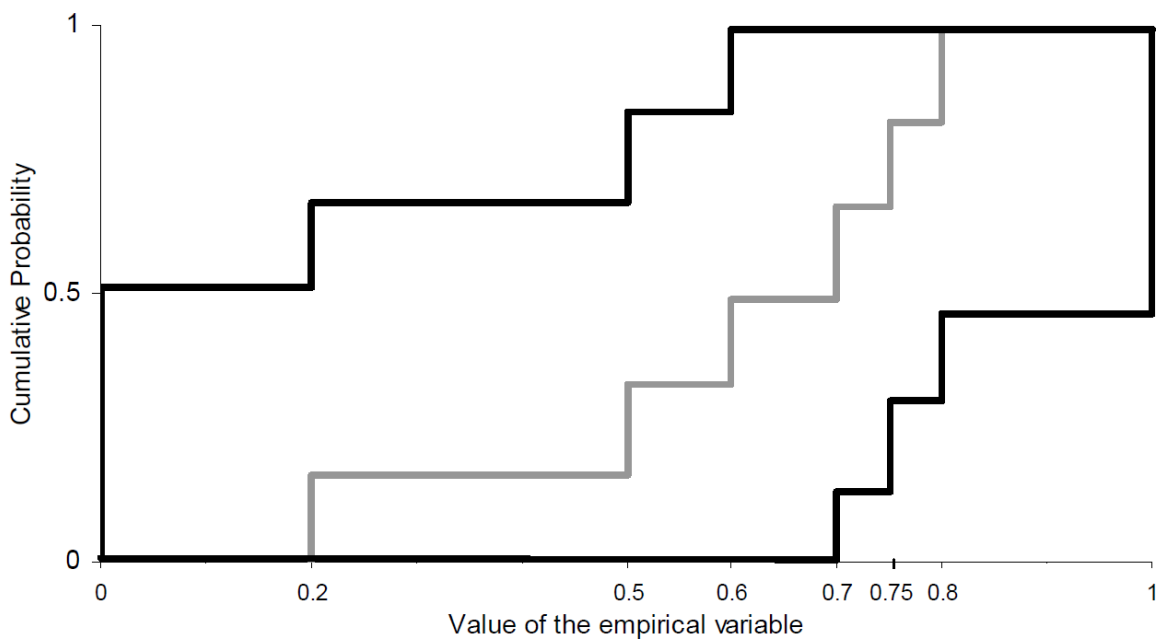


Рисунок 2.7 – Приклад інтервальної функції розподілу (P-box)

Нехай $Z_i = F(x_i), i = 1, \dots, n$.

У випадку, якщо $Z_i = e^{-\lambda t_i}$, маємо, що:

$$\lambda = -\frac{\ln(Z_i)}{t_i}$$

Таким чином, частота аварій не константа, а знаходиться в певному інтервалі. Інакше кажучи, ймовірність аварії як така залежить від випадкової величини.

Для знаходження $\lambda(t)$ будемо використовувати метод найменших квадратів.

Слід зазначити, що $\lambda(t)$ - функція. У рамках цієї роботи, з метою скорочення розрахунків при апробації методу, обмежимося тим, що λ – не константа, а інтервальне число з верхнім і нижнім кордоном, оскільки порядкові статистики Z_i є випадковими.

2.5 Опис системи CRAMM

CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method) — це комплексна методологія аналізу та управління ризиками, розроблена Центральним агентством комп'ютерних технологій Великобританії (CCTA). Вона є однією з провідних систем у сфері оцінки ризиків і широко застосовується для забезпечення інформаційної та технічної безпеки в складних інфраструктурних системах, зокрема об'єктах підвищеної небезпеки (ОПН).

CRAMM орієнтована на ідентифікацію активів, оцінку їхньої важливості, аналіз загроз і вразливостей, а також на розробку відповідних заходів захисту. Її основною метою є зменшення ризиків до прийняттого рівня, забезпечуючи таким чином надійну роботу організаційних процесів і технічних систем[8].

CRAMM складається з трьох ключових етапів:

1. Ідентифікація активів та їхньої критичності

На цьому етапі визначаються основні ресурси, що підлягають захисту, такі як інформаційні дані, інфраструктурні об'єкти, обладнання або процеси. Активи класифікуються за їхньою важливістю, вартістю та потенційним

впливом у разі виходу з ладу.

2. Аналіз загроз і вразливостей

Цей етап передбачає визначення ймовірних загроз, що можуть вплинути на активи, та аналіз вразливостей, які можуть бути використані загрозами. Наприклад, для магістральних трубопроводів це можуть бути природні катастрофи, технічні несправності чи людський фактор.

3. Розробка стратегії захисту

На основі оцінки ризиків формуються рекомендації щодо впровадження захисних заходів. Це може включати фізичний захист, вдосконалення моніторингу, розробку резервних планів або використання автоматизованих систем для аналізу ризиків.

Особливості методології

- Адаптивність. CRAMM може бути налаштована для роботи з будь-якими типами об'єктів та активів. Вона однаково ефективна як для інформаційних систем, так і для фізичних об'єктів.

- Структурований підхід. Методологія забезпечує послідовний процес аналізу, що мінімізує ризик пропуску критичних факторів.

- Інтеграція з автоматизованими системами. CRAMM легко інтегрується з програмними засобами для аналізу ризиків, такими як чисельне моделювання або методи ймовірнісного аналізу.

У дипломній роботі CRAMM використовується для аналізу ризиків об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки, зокрема магістральних трубопроводів. За допомогою CRAMM виконано:

- Класифікацію активів за їхньою важливістю.
- Ідентифікацію загроз і вразливостей на основі емпіричних даних.
- Розробку карти ризиків, яка включає чисельний аналіз і візуалізацію можливих сценаріїв ризику.

Переваги використання CRAMM:

1. Систематизація даних. Забезпечується чітка структура аналізу

ризиків, що полегшує роботу з великими обсягами даних.

2. Підвищення ефективності управління ризиками. Методологія дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо оптимізації ресурсів та заходів захисту.

3. Універсальність. CRAMM може бути застосована для різних галузей, забезпечуючи гнучкість у вирішенні специфічних завдань.

Таким чином, CRAMM є потужним інструментом для управління ризиками, особливо в умовах складних технічних систем і високих вимог до безпеки. Її використання в дипломній роботі дозволяє забезпечити комплексний підхід до аналізу та управління ризиками об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки.

3 Розробка інформаційно-аналітичної моделі для оцінки техногенного ризику

3.1 Алгоритм роботи з CRAMM

Система CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method) є одним із провідних методів аналізу ризиків, що застосовується для оцінки та управління ризиками інформаційної безпеки та операційних процесів. Вона забезпечує структурований підхід до ідентифікації активів, загроз і вразливостей, а також дозволяє визначити та оцінити рівень ризику з подальшою розробкою заходів для його мінімізації.

Основні етапи системи CRAMM:

Ідентифікація активів: визначення критичних об'єктів, що потребують захисту. У контексті дослідження це можуть бути магістральні трубопроводи, об'єкти із підвищеним рівнем небезпеки або окремі системи їх експлуатації.

Аналіз загроз: ідентифікація можливих загроз, таких як аварії, природні катаклізми чи технічні несправності.

Оцінка вразливостей: визначення слабких місць у системі, які можуть бути використані загрозами для реалізації ризику.

Оцінка ризику: застосування кількісного чи якісного аналізу для визначення рівня ризику на основі загроз і вразливостей.

Розробка заходів: формування стратегії захисту, спрямованої на мінімізацію ризику та підвищення рівня безпеки.

Алгоритм роботи з CRAMM.

Розглянемо, як етапи системи CRAMM застосовуються для аналізу ризиків:

1. На етапі ідентифікації активів визначаються критичні об'єкти для аналізу ризиків Магістральні трубопроводи є ключовими активами, для яких

аналізуються ризики. Основним параметром є статистична частота аварій та експоненційний закон розподілу ризику.

2. Аналіз загроз проводиться на основі емпіричних даних. Далі буде наведено статистику частот аварій, що дозволяє визначити основні загрози, наприклад, технічні збої або природні катаклізми, які можуть спричинити вихід з ладу трубопроводів.

3. Для оцінки вразливостей використовується аналіз параметрів розподілу λ . За допомогою методу Монте-Карло моделюються різні сценарії аварій для врахування можливих вразливостей трубопроводів залежно від часу експлуатації та зовнішніх факторів.

4. Оцінка ризику Система CRAMM передбачає використання як якісних, так і кількісних методів для оцінки ризику. Оцінка ризику здійснюється за допомогою чисельного ймовірнісного аналізу, де отримані графіки функцій ризику $R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ дозволяють визначити ризикові ділянки.

5. Після оцінки ризиків система CRAMM рекомендує розробку заходів для їх мінімізації. Це можуть бути рекомендації щодо модернізації обладнання, впровадження додаткових засобів моніторингу чи корекції процесів експлуатації. Наприклад, у розділі 3.3 буде запропоновано використання програмного модуля для побудови графіків функцій ризику та визначення найризикованіших ділянок трубопроводів.

Розроблений алгоритм дозволяє підвищити точність і достовірність оцінки ризиків для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки, інтегруючи теоретичні та практичні методи системи CRAMM. Це забезпечує всебічний аналіз ризиків та сприяє підвищенню рівня безпеки таких об'єктів.

3.2 Опис прикладу оцінки статистичного ризику

Поставимо за мету обчислити кількісну оцінку ризику у ОПН. Як вихідні дані візьмемо довільну статистику частот аварій на магістральних трубопроводах. Вихідні дані представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Частоти аварій на магістральних трубопроводах

	Кількість аварій, од.	Протяжність км.
1	2	5100
2	5	5490
3	2	5500
4	0	5490
5	1	5490
Разом	10	27070

Для оцінки ризику відповідно до нормативних документів обчислимо статистичну частоту аварій на магістральних трубопроводах $\lambda_{ст}$. На основі інформації з таблиці 3.1 отримаємо:

$$\lambda_{ст} = \frac{10}{27070} = 4 * 10^{-5} \quad (3.1)$$

З обліком того, що $\lambda_{ст} = const$, то справедливим вважається експоненційний закон розподілу:

$$R_{ст} = R_A(t) = 1 - e^{-\lambda_{ст}t}$$

де $R_{ст}$ - статистичний ризик виникнення аварії на магістральному трубопроводі, $R_A(t)$ – ймовірність події А, рівна $\lambda_{ст}t < 0,01$.

На практиці аналізу ризику розглядається період t , рівний одному році. ризик виникнення аварії на магістральному трубопроводі дорівнює:

$$R_{ст} = 4 * 10^{-5}.$$

3.3 Інформаційно-аналітична система для оцінки ризиків з використанням чисельного ймовірнісного аналізу

В якості основи для програмного модуля були взяті наступні дані,
($\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$) = ($4 * 10^{-5}; 9 * 10^{-5}; 3 * 10^{-5}; 0; 2 * 10^{-5}$).

Функціональна схема програмного модуля показано рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Функціональна схема програмного модуля

Розглянута ситуація – небезпека виведення з ладу трубопроводу у зв'язку із надзвичайною ситуацією природного характеру. Мета програмного модуля – побудова достовірної оцінки виведення з ладу трубопроводу. Під достовірною оцінкою слід розуміти побудову всіх можливих ризикових ситуацій та всіх можливих графіків функцій ризику.

Емпіричні дані були отримані методом Монте-Карло. Для зручності підрахунків було зроблено припущення, що λ має нормальний розподіл. У результаті було отримано вибірка, розподіл якої представлено рисунком 3.2.

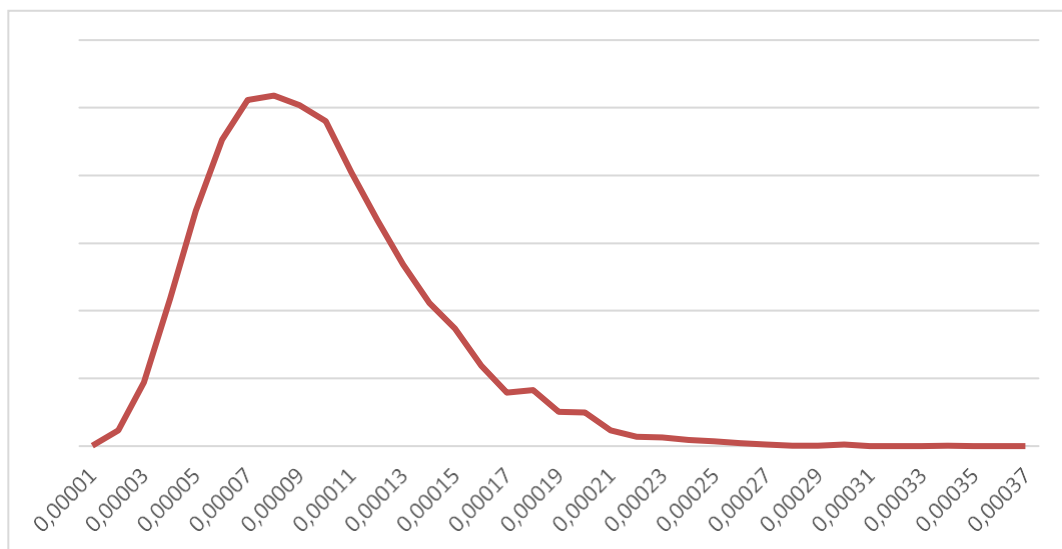


Рисунок 3.2 – Розподіл параметра λ

В результаті робіт були отримані графіки функцій $R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, де t - час у роках. Скріншоти роботи програмного модуля представлені рисунком 3.3.

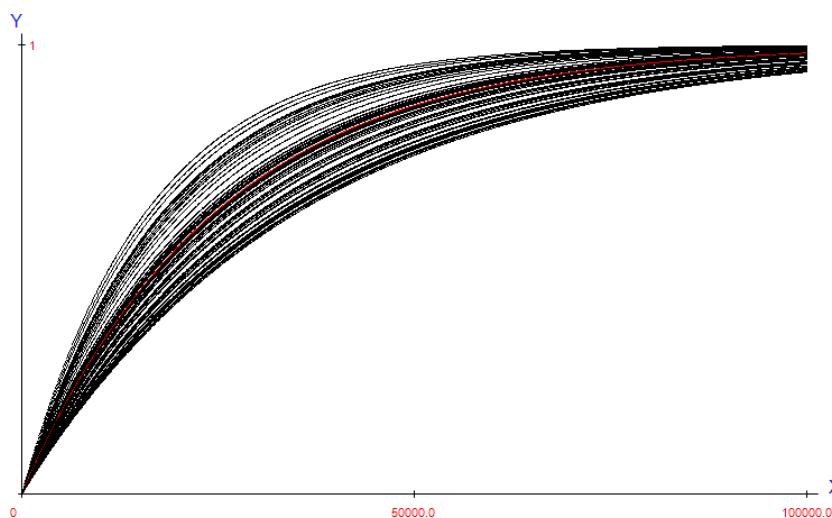


Рисунок 3.3 – Результат роботи програмного модуля, 10 тисяч ітерацій.

Виходячи з даних графіків можна зробити висновок:

– частота аварії на трубопроводі перестав бути постійної величиною, а має певні межі;

– найбільша ймовірність аварії знаходиться на найбільш темних ділянках на рисунках 3.3, куди потрапляє

найбільша кількість експонентів;

– ймовірність, отримана в результаті розрахунку по нормативним документів, що лежить в області з найбільшою ймовірністю.

3.4 Інтеграція чисельного ймовірнісного аналізу у модель CRAMM

Процес аналізу ризиків об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки вимагає точного врахування ймовірнісних параметрів для формування достовірної оцінки ризику. Чисельний ймовірнісний аналіз, як частина методології CRAMM, дозволяє отримати статистично обґрунтовані результати та підвищити ефективність прийняття рішень. У цьому розділі розглянуто, як чисельний ймовірнісний аналіз інтегрується у модель CRAMM, що сприяє більш точному виявленню ризиків та формуванню рекомендацій щодо їх мінімізації.

Інтеграція чисельного ймовірнісного аналізу у CRAMM має на меті:

1. Забезпечити моделювання складних сценаріїв ризику з урахуванням можливих варіацій у параметрах загроз і вразливостей.
2. Надати кількісну оцінку ризиків для виявлення найбільш критичних зон та сценаріїв.
3. Розробити рекомендації щодо зменшення ризиків, враховуючи реальні умови експлуатації об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки.

Алгоритм інтеграції чисельного ймовірнісного аналізу в CRAMM складається з таких етапів:

1. Збір даних та побудова базових моделей

Вихідні дані, такі як статистична частота аварій, протяжність

трубопроводів та параметри вразливостей, формують базу для побудови початкової моделі ризику.

На прикладі, представленому в таблиці 3.1, статистична частота аварій $\lambda = 4 * 10^{-5}$ використовується як основний параметр.

2. Моделювання варіацій параметрів

За допомогою методу Монте-Карло моделюються тисячі можливих сценаріїв розвитку подій. Змінними є параметри частоти аварій λ , розподілені за нормальним законом із заданими параметрами середнього значення та дисперсії. Це дозволяє врахувати невизначеності у вихідних даних.

3. Аналіз функцій ризику

На основі отриманих вибірок моделюються функції ризику:

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Значення λ змінюється для кожного сценарію, що дозволяє отримати повний спектр можливих ризиків. Результати візуалізуються у вигляді графіків, де найтемніші зони відображають найбільш ризиковані ділянки.

4. Побудова інтегрованої карти ризиків

На основі аналізу результатів формується інтегрована карта ризиків, яка враховує всі можливі сценарії та дозволяє визначити зони з найвищим рівнем небезпеки. Карта є основою для прийняття рішень щодо мінімізації ризиків.

5. Формування рекомендацій

Враховуючи отримані дані, система CRAMM генерує набір рекомендацій для зменшення ризиків. Це може включати:

- Впровадження додаткових систем моніторингу;
- Зміцнення вразливих ділянок трубопроводів;

Для демонстрації роботи інтегрованої моделі було використано програмний модуль, розроблений на основі методології CRAMM із

включенням чисельного аналізу. Графіки функцій ризику, отримані за результатами моделювання, представлені на рисунку 3.3.

Виявлено, що найбільш ризиковані ділянки трубопроводів збігаються із зонами, де значення параметра λ має найбільшу щільність ймовірності. Це підтверджує достовірність отриманих результатів і їх практичну значущість.

Переваги інтеграції чисельного ймовірнісного аналізу;

1. Підвищення точності оцінки ризиків

Моделювання великої кількості сценаріїв дозволяє врахувати усі можливі варіації параметрів та забезпечити високу точність прогнозування.

2. Гнучкість аналізу

Використання методу Монте-Карло дозволяє адаптувати модель до специфічних умов експлуатації об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки.

3. Оптимізація управління ризиками

Інтегрована модель SRAMM забезпечує ефективний інструмент для прийняття обґрунтованих рішень щодо зменшення ризиків.

Інтеграція чисельного ймовірнісного аналізу в методологію SRAMM дозволяє суттєво розширити можливості системи у сфері оцінки ризиків для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки. Отримані результати сприяють формуванню більш надійної інформаційно-аналітичної системи, яка забезпечує комплексний підхід до аналізу та управління ризиками.

ВИСНОВОК

У рамках дипломної роботи на тему "Інформаційно-аналітична система аналізу ризиків для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки" було розроблено та впроваджено методологію оцінки ризиків із використанням системного підходу. Результати роботи дозволили досягти поставлених цілей та вирішити задачі, визначені на початковому етапі дослідження.

У процесі дослідження:

1. Проаналізовано особливості функціонування об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки (ОПН), зокрема магістральних трубопроводів, які є критичними елементами інфраструктури. Виявлено основні фактори ризику, що можуть впливати на безпеку таких об'єктів, та їх можливі наслідки.

2. Розроблено інформаційно-аналітичну систему, яка інтегрує методологію CRAMM із чисельними методами ймовірнісного аналізу, такими як метод Монте-Карло. Запропонована система дозволяє проводити кількісну оцінку ризиків, створювати карти ризиків і візуалізувати результати аналізу для прийняття обґрунтованих рішень.

3. Проведено практичну оцінку ризиків на прикладі магістральних трубопроводів із використанням запропонованої інформаційно-аналітичної системи. Це дозволило виявити критичні точки, спрямувати ресурси на їх усунення та сформулювати рекомендації щодо зменшення ймовірності аварійності.

4. Оцінено ефективність впроваджених заходів. Результати моделювання підтвердили доцільність застосування інтегрованої методології, оскільки вона забезпечує зниження ризиків до прийняттого рівня з мінімальними витратами ресурсів.

Практична цінність

Розроблена система може бути впроваджена в практику роботи компаній, що займаються експлуатацією об'єктів із підвищеним рівнем

небезпеки. Це дозволяє значно підвищити рівень безпеки, зменшити ймовірність аварій і забезпечити відповідність вимогам чинного законодавства.

Перспективи подальших досліджень

На основі виконаної роботи можливий подальший розвиток у напрямку:

- розширення функціоналу системи для аналізу ризиків інших типів об'єктів;
- автоматизації процесів збору та обробки даних із використанням технологій штучного інтелекту;
- інтеграції системи з іншими програмними комплексами для створення єдиної платформи управління ризиками.

Таким чином, результати дипломної роботи мають теоретичне та практичне значення і сприяють розвитку систем управління ризиками для об'єктів із підвищеним рівнем небезпеки..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO/IEC 27005:2015. Інформаційні технології. Методи управління ризиками інформаційної безпеки.
2. BS 7799: British Standard for Information Security Management Systems. Part 1 and 2. – London: British Standards Institution, 2005.
3. Сафонов В. О. Управління ризиками: навчальний посібник. – Київ: Центр навчальної літератури, 2019. – 356 с.
4. Метод Монте-Карло в інженерних розрахунках: навчальний посібник / Під ред. М. Г. Ковальчука. – Харків: Видавництво ХНУРЕ, 2021. – 276 с.
5. Глушков В. М. Основи економіко-математичного моделювання. – Київ: Наукова думка, 2018. – 312 с.
6. Горбулін В. П., Качинський А. Б. Управління ризиками в стратегічних системах. – Харків: Фоліо, 2020. – 288 с.
7. Козак Ю. Г., Ляшенко Д. В. Аналіз ризиків та управління кризами в організаціях. – Одеса: ОНУ, 2022. – 412 с.
8. CRAMM User Manual: Detailed Methodology for Risk Assessment and Management. – London: Insight Consulting, 2017.
9. Шеннон К. Теорія інформації та кібернетики. – Київ: Видавництво АН УРСР, 2020. – 276 с.
10. ISO 22301:2019. Security and resilience – Business continuity management systems – Requirements.
11. International Organization for Standardization (ISO). ISO 31000:2018 Risk Management – Guidelines.
12. Жуковський О. В., Мельник І. П. Сучасні інформаційні технології в управлінні ризиками. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2021. – 198 с.
13. ISO/IEC 27001:2022. Information Security Management Systems – Requirements.
14. Коваленко С. В. Теорія ймовірностей у моделюванні ризиків. –

Дніпро: Університет Дніпра, 2023. – 340 с.

15. Батрак М. П., Федорченко С. І. Основи безпеки інфраструктурних об'єктів. – Київ: Видавництво НАУ, 2020. – 256 с.

16. Корольов В. П., Шаповалов О. С. Управління ризиками у технічних системах. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 284 с.

17. Фадєєв Ю. М., Шишкін О. В. Методи кількісного аналізу ризиків у промислових системах. – Київ: Техніка, 2019. – 296 с.

18. Carnegie Mellon University. CERT® Resilience Management Model (CERT-RMM) Version 1.2. – Pittsburgh: Software Engineering Institute, 2021.

19. De Rocquigny E., Devictor N., Tarantola S. *Uncertainty in Industrial Practice: A Guide to Quantitative Uncertainty Management*. – Wiley, 2008. – 446 p.

20. Виноградов С. І., Палій В. В. Чисельні методи аналізу ризиків: ймовірнісний підхід. – Київ: НАН України, 2021. – 360 с.