

Бакалаврська дипломна робота

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206
спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ковтун В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., завідувач кафедри ІКСТ

Кичак В.М.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2024 р.

Рецензент роботи д.т.н., професор каф. ІРТС

Семенов А.О.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., проф. Кичак В.М.
(прізвище та ініціали)

« 12 » 06 2024р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 – Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., проф..

06.05 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ковтун Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Розробка програми оцінювання надійності телекомунікаційних мереж

керівник роботи: доктор технічних наук, професор Кичак В.М.

затверджені наказом вищого навчального закладу від "11" березня 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 07 червня 2024 року

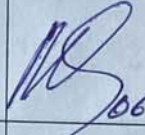
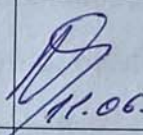
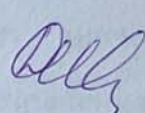
3. Вихідні дані до роботи: розробити програму оцінювання надійності телекомунікаційних мереж, розглянути принцип побудови системи, провести моделювання програмного забезпечення.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз методів розрахунку надійності. Розробка алгоритму розрахунку надійності. Моделювання програмного забезпечення в середовищі Matlab. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Алгоритм розрахунку надійності. Відкритий код програмного забезпечення з коментарями.

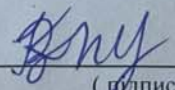
6. Консультанти розділів роботи

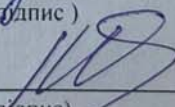
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доктор технічних наук, професор Кичак В.М.	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.	 06.05.2024	 11.06.2024

7. Дата видачі завдання 6 травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (ДБР)	06.05.2024р.	
2.	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3.	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4.	Охорона праці (ОП)	04.06.2024р.	
5.	Нормоконтроль БДР	05.06.2024	
6.	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7.	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8.	Захист БДР ЕК	12.06.2024р.	

Студент  Ковтун В.В..
(підпис)

Керівник роботи  Кичак В.М..
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.371

Ковтун В.В. Розробка програми оцінювання надійності телекомунікаційних мереж. Бакалаврська дипломна робота зі спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка, освітня програма – програмне забезпечення телекомунікаційних систем. Вінниця: ВНТУ, 2024. 52 с. Укр. мовою. Бібліогр.: 38 назв; рис.: 14; табл. 8.

Бакалаврська дипломна робота присвячена теоретичному вивченню, експериментальному дослідженню та розробці програмного забезпечення для оцінки надійності телекомунікаційних мереж. Робота включає аналіз принципів функціонування та архітектури телекомунікаційних систем, вивчення сучасних методів оцінювання надійності, розробку алгоритмів та моделей для прогнозування та управління надійністю мереж.

У бакалаврській дипломній роботі проведено аналіз параметрів та характеристик телекомунікаційних мереж, визначено основні чинники, що впливають на їхню надійність. На основі цього аналізу розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінювати та прогнозувати рівень надійності телекомунікаційних мереж з урахуванням різних умов експлуатації та потенційних ризиків. Ключові слова: надійність, телекомунікаційні мережі, алгоритми, моделювання.

ABSTRACT

UDC 621.371

Kovtun V.V. Development of a program for assessing the reliability of telecommunication networks. Bachelor's thesis in specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering, educational program - Software of telecommunication systems. Vinnytsia: VNTU, 2024. 52 c. In Ukrainian. Bibliography: 38 titles; Figures: 14; Table 8.

The bachelor's thesis is devoted to theoretical study, experimental research and development of software for assessing the reliability of telecommunication networks. The work includes analysis of the principles of operation and architecture of telecommunication systems, study of modern methods of reliability assessment, development of algorithms and models for forecasting and managing network reliability.

In his bachelor's thesis, he analyzed the parameters and characteristics of telecommunication networks and identified the main factors affecting their reliability. Based on this analysis, software has been developed that allows to evaluate and predict the level of reliability of telecommunication networks, taking into account various operating conditions and potential risks. Keywords: reliability, telecommunication networks, algorithms, modeling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	9
1.1 Аналітичний метод оцінки надійності.....	9
1.2 Математичні подання показників надійності.....	12
1.3 Висновки по розділу.....	20
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ	21
2.1 Аналітичний метод розрахунку надійності.....	21
2.2 Статистичний метод розрахунку надійності	24
2.3 Порівняння статистичного та аналітичного методу розрахунку надійності.....	24
2.4 Висновки до розділу.....	26
3 Розробка програми оцінювання надійності та моделювання надійності ТКМ.....	28
3.1 Моделювання транспортних мереж методом графів	28
3.2 Оцінювання адекватності моделі.....	29
3.3 Оцінювання стійкості моделі.....	31
3.4 Оброблення і аналіз результатів моделювання систем.....	32
3.5 Підбір параметрів розподілів.....	33
3.6 Оцінювання впливу і взаємозв'язку факторів.....	34
3.7 Однофакторний дисперсійний аналіз.....	35
3.8 Моделювання транспортних мереж методом графів.....	36
3.9 Розробка алгоритму імітаційного моделювання надійності.....	38
3.10 Розробка алгоритму аналітико-статистичного методу розрахунку надійності.....	42
3.11 Програма оцінювання надійності методів	43
3.12 Висновки до розділу	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	55
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	57
4.3 Пожежна безпека	61
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративний матеріал.....	70
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки бакалаврської роботи.....	74

ВСТУП

Актуальність роботи. Ефективний розвиток телекомунікаційних та комп'ютерних систем останніми роками призвів до їх інтеграції, що дало можливість створити складну телекомунікаційну мережу. Це, своєю чергою, спричинило розробку структурних рішень. На ефективність функціонування такої великої системи значно впливають надійність складових підсистем і елементів, а також складність зв'язків між ними. Попри постійні вдосконалення технологій виробництва високонадійних елементів, вузлів і блоків, а також методів їх збирання та налагодження на рівні підсистем і комплексів, зростання складності сучасних та перспективних систем не завжди дозволяє забезпечити задану надійність їх функціонування [1,2].

У зв'язку з постійним зростанням значення телекомунікаційних мереж у сучасному суспільстві, забезпечення їх надійності та ефективності стає важливою проблемою для операторів зв'язку та інженерів у цій галузі. Надійність та доступність мереж впливають на багато сфер діяльності, включаючи бізнес, науку, освіту та соціальні взаємовідносини.

У зв'язку з цим, розробка програми для оцінювання надійності телекомунікаційних мереж стає актуальною задачею. Така програма може допомогти інженерам та адміністраторам мереж ефективно аналізувати та вдосконалювати існуючі мережі, виявляти проблемні місця та розробляти стратегії для їх вирішення.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз ряду публікацій вітчизняних і закордонних науковців свідчить про зниження уваги до питань дослідження надійності функціонування телекомунікаційного обладнання (ТЛКО) систем і мереж зв'язку [3,4,5]. Відомі наукові результати в галузі телекомунікацій здебільшого присвячені дослідженням окремих аспектів надійності ТЛКО і, як правило, отримані без комплексного врахування всіх факторів, що впливають на надійність. Деякі з цих чинників є агресивними і призводять до зниження надійності (збої, що викликають короткочасні перерви у функціонуванні; стійкі відмови обладнання, які вимагають відновлення працездатності пристроїв, що вийшли з ладу, у ремонтному органі; недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу), інші ж підтримують нормальне функціонування ТЛКО на заданому рівні (використання окремо або візних видів резервування – структурного, часового, навантажувального, а також підвищення продуктивності ремонтного органу, що призводить до підвищення ефективності використання надлишковості) [5,6].

Ця обставина призвела до того, що до теперішнього часу відсутня єдина методологія і ефективний науково-медичний апарат (методи, моделі, методики) для оцінки надійності ТЛКО і прийняття науково обґрунтованих рекомендацій в її забезпеченні при модернізації існуючих та побудові перспективних мереж зв'язку [7].

У зв'язку з цим метою цієї роботи є обґрунтування загального підходу до комплексної оцінки надійності ТКЛЮ мереж зв'язку та розробка алгоритму і програми оцінювання надійності телекомунікаційної мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз показників надійності телекомунікаційних систем та методів їх розрахунку;
- провести порівняння стистичного та аналітичного методів розрахунку нерівностей;
- розробити алгоритм та програму оцінювання надійності телекомунікаційних систем;
- провести моделювання телекомунікаційної транспортної мережі з метою оцінювання її надійності.

Об'єктом дослідження є процеси проходження інформаційних сигналів телекомунікаційної мережі.

Придметом дослідження є методи та моделі оцінювання надійності телекомунікаційних систем і мереж.

Новизна роботи полягає в розробці алгоритму та програми оцінювання надійності телекомунікаційної мережі з урахуванням комплексного впливу різних чинників, що впливають на її функціонування. Запропонований підхід дозволить більш точно моделювати та аналізувати надійність телекомунікаційних систем, враховуючи як внутрішні, так і зовнішні чинники, включаючи агресивні впливи (збої, відмови обладнання) та фактори, що підтримують нормальне функціонування (кваліфікація обслуговуючого персоналу, якість елементів).

Таким чином, робота вносить новий вклад у теорію та практику забезпечення надійності телекомунікаційних мереж, пропонуючи інноваційні методи оцінки та управління надійністю, які можуть бути використані для підвищення ефективності та стабільності сучасних телекомунікаційних систем.

Запропонована модель дозволить враховувати комплексні взаємодії між підсистемами та компонентами телекомунікаційних мереж, що сприятиме більш точному прогнозуванню та управлінню можливими збоями та відмовами. Особлива увага приділена аналізу впливу агресивних факторів навколишнього середовища та техногенних навантажень, а також розробці методів підвищення надійності за рахунок оптимізації структурних зв'язків між елементами мережі.

Практичне значення роботи полягає в тому що запропоновані підходи до оцінювання надійності дозволять підвищити ефективність роботи телекомунікаційних систем.

Апробація результатів досліджень матеріали бакалаврської роботи доповідались на науковому семінарі кафедри ІКСТ Вінницького Національного Технічного Університету

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

1.1 Аналітичний метод оцінки надійності

Для кількісної оцінки надійності використовуються різні показники, які можна поділити на одиничні та комплексні.

Одиничні показники надійності стосуються однієї з характеристик виробу, таких як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність або збереженість.

Комплексні показники надійності об'єднують кілька властивостей, що складають надійність виробу. Їх використовують для кількісної характеристики переважно відновлюваних виробів, тоді як одиничні показники підходять для оцінки будь-яких виробів. Вибір конкретних показників надійності залежить від призначення та характеру функціонування виробу.

Розглянемо одиничні показники надійності, які характеризують безвідмовність і відновлюваність, а також комплексні показники, що відносяться до цих двох властивостей.

Основним показником безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи, під якою розуміється ймовірність того, що протягом заданого періоду експлуатації відмова виробу не відбудеться. Конкретне числове значення ймовірності безвідмовної роботи має сенс тільки при вказаному періоді експлуатації, протягом якого можливе виникнення відмов. Тому ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ розглядається за умови, що на початок відліку часу заданого періоду експлуатації виріб був працездатним. Ймовірність безвідмовної роботи можна записати у вигляді.

$$P(t) = I - F(t) \quad (1.1)$$

де $F(t)$ - інтегральна функція розподілення.

Функція плавно зменшується від одиниці до нуля, при цьому вважається, що виріб працездатний у момент ввімкнення.

Графік функції зображено на рис. 1.

У деяких випадках, крім показника ймовірності безвідмовної роботи, використовується показник ймовірності відмови. Він визначається як ймовірність того, що виріб відмовить протягом заданого часу роботи, за умови, що він був працездатним на початковий момент часу. Ймовірність відмови $Q(t)$ розраховується за формулою:

$$Q(t) = F(t) = I - P(t). \quad (1.2)$$

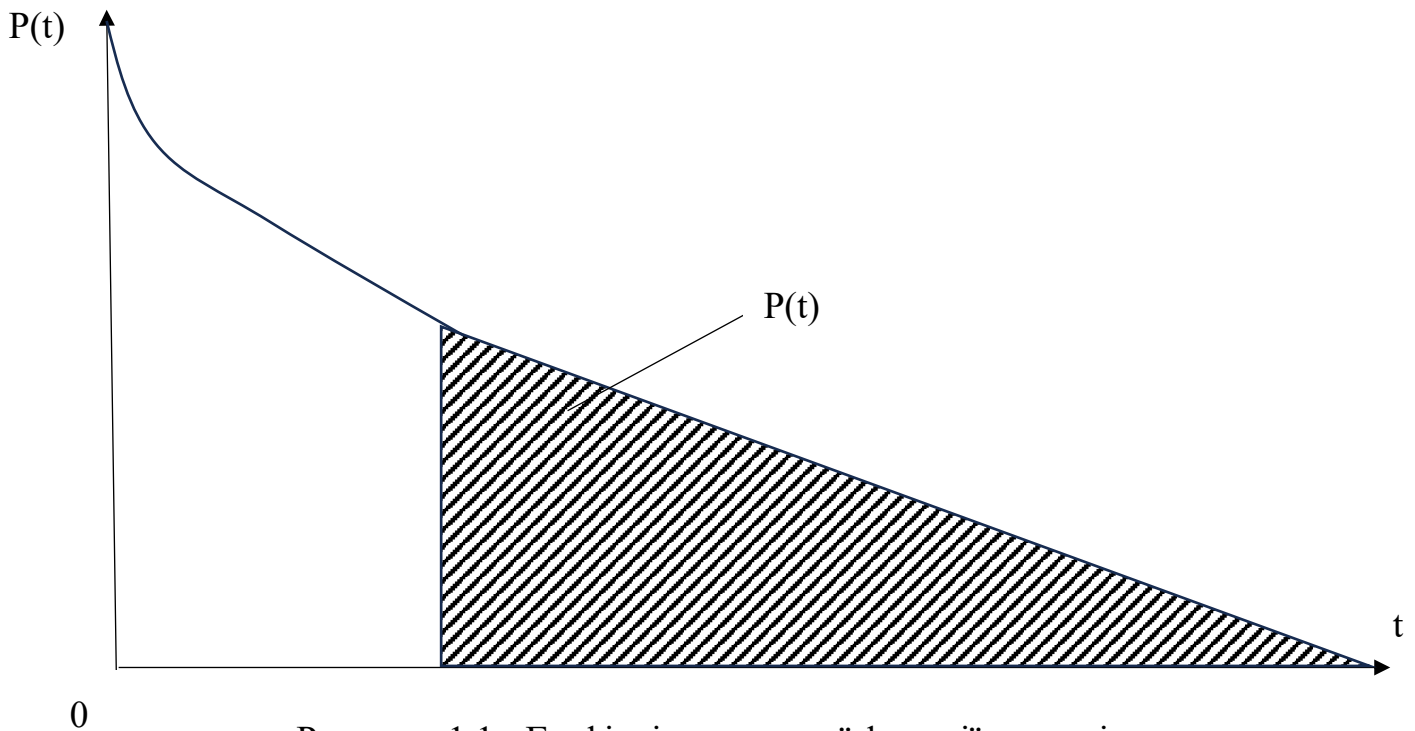


Рисунок. 1.1 - Графік інтегральної функції розподілення

У цьому випадку ймовірність відмови $Q(t)$ збігається з інтегральною функцією розподілу часу до відмови. Графік функції $Q(t)$ наведений на рис. 1. Якщо функція $Q(t)$ є диференційованою, то безвідмовність можна також охарактеризувати щільністю ймовірності моменту першої відмови, яка визначається за формулою:

$$f = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dP(t)}{dt} \quad (1.3)$$

З формули випливає, що ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі $(0, t)$ дорівнює інтегралу від моменту часу до нескінченності (тобто, площі під кривою щільності ймовірності), показаної на рис. 1.

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1.4)$$

Особливістю функція $Q(t)$ і $f(t)$ є те що вони односторонні, тобто тотожно рівні нулю при $t < 0$. Значення $Q(t) > 0$ при $t < 0$ вводять інколи ла опису відмов при збереженні.

Іншою важливою диференційною характеристикою безвідмовності є інтенсивність відмов $\lambda(t)$, яка представляє собою умовну щільність ймовірності виникнення відмови виробу в розглянутий момент часу за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Згідно з цим визначенням, інтенсивність відмов визначається щільністю ймовірності, віднесеною до ймовірності безвідмовної роботи виробу в даний момент часу, відповідно до формули.

$$\lambda(t) = f(t)|P(t) \quad (1.5)$$

З урахуванням (1.1) та (1.3) отримаємо

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} = \frac{1}{1 - F(t)} \frac{dF(t)}{dt} \quad (1.6)$$

Слід зазначити, що інтенсивність відмов як показник безвідмовності застосовується лише для невідновлюваних об'єктів, таких як ВЕТ. Безвідмовність різної радіоелектронної апаратури, яка здебільшого належить до відновлюваних об'єктів, характеризується потоком відмов. Потік відмов визначається як відношення кількості відмов об'єкта за невеликий проміжок часу до величини цього проміжку. Щільність ймовірності та інтенсивність відмов мають розмірність год^{-1} що означає кількість відмов за одну годину роботи. У більшості сучасних приладів значення інтенсивності відмов залежить від умов експлуатації та лежить в межах $10^{-7} \dots 10^{-8}$ год.

Для спрощення запису в перекладеній літературі часто використовують інші одиниці вимірювання, наприклад, фіт, де один фіт дорівнює 10^{-9} год^{-1} . Інтенсивність відмов виробу в 10^{-8} еквівалентна 10 фітам. Використовуючи диференційні показники, можна формувати інші показники безвідмовності, такі як середній наробіток до відмови, який є математичним сподіванням часу роботи виробу до першої відмови:

$$t = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (1.7)$$

і гамма-процентний наробіток до відмови t_v , який визначається як час роботи, протягом якого виріб не зазнає відмов з імовірністю u , вираженою у відсотках. Цей показник обчислюється за рівнянням:

$$P(t) = 1 - \int_0^{t_v} f(t) dt = \frac{v}{100} \quad (1.8)$$

1.2 Математичні подання показників надійності

Досвід експлуатації багатьох виробів електронної техніки свідчить про існування трьох характерних залежностей інтенсивності відмов від часу, які відповідають трьом життєвим періодам цих виробів.

1.Інтенсивність відмов поступово зменшується, що характерно для періоду приробки, протягом якого проявляються всі дефекти, викликані переважно технічними причинами, а не конструкційними особливостями.

2.Інтенсивність відмов залишається приблизно постійною, що відповідає періоду нормальної експлуатації. У цьому періоді переважають раптові відмови.

3.Інтенсивність відмов поступово зростає, що вказує на настання періоду зносу, спричиненого процесами старіння. У цьому періоді переважають поступові відмови. Інтенсивність відмов значною мірою залежить від електричних навантажень та впливу зовнішніх факторів, таких як теплові навантаження та вібрації.

Інтенсивність відмов можна використовувати для визначення ймовірності безвідмовної роботи та встановлення функціональної взаємозалежності між показниками надійності. Використовуючи вираз (1.3), можна записати:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{dP(t)}{P(t)dt} \quad (1.9)$$

Інтегруючи вираз (1.9) методом розділення змінних, знайдемо розв'язок для $P(t)$:

$$\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt; \ln[P(t)] = -\int_0^t \lambda(t)dt; P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (1.10)$$

З виразу (1.10) видно, що основний показник надійності - ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ - представляє собою експоненціальну функцію, яка в межах часу $(0, \infty)$ змінюється від 1 до 0. Ймовірність відмови $Q(t)$, яка відображає протилежний випадок безвідмовної роботи, змінюється в тих же межах часу від 0 до 1. Використовуючи це, можна записати:

$$Q(t) = -\int_0^t f(t)dt, \text{ при } t \rightarrow \infty Q(t) = \int_0^t f(t)dt = 1$$

Враховуючи (1.2) виразимо ймовірність безвідмовної роботи через щільність ймовірності відмови $f(t)$

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt - \int_0^\infty f(t)dt - \int_0^t f(t)dt = \int_0^\infty f(t)dt \quad (1.11)$$

Таким чином, початковий запас надійності, який має прилад, поступово витрачається, і при достатньо тривалій експлуатації прилад стає практично непрацездатним. Функціональний зв'язок між показниками надійності наведено в таблиці 1.1. Використовуючи цю залежність, можна визначити всі інші показники надійності, якщо відомий хоча б один з них. Однак, слід зазначити, що розглянуті вище співвідношення є певною мірою математичною абстракцією і на практиці не можуть бути використані для точного визначення показників надійності, оскільки точні значення вихідних величин, зокрема інтегральної функції розподілу наробітку до відмови, не можуть бути відомими. Вихід із цієї ситуації полягає у використанні статистичних ймовірнісних характеристик, визначених експериментально. При цьому передбачається, що експерименти проводяться за однакових умов і з використанням ідентичних об'єктів. В напівпровідникових приладах і мікросхемах передбачається, що всі тестовані вироби мають однакові електричні параметри та фізичні характеристики, а також випробовуються в однакових режимах і умовах зовнішніх впливів. Достовірність статистичних характеристик зростає зі збільшенням кількості виробів, що піддаються випробуванням, та тривалості самих випробувань. Для визначення статистичних ймовірнісних характеристик під час розрахунку показників надійності будемо виходити з того, що маємо партію з N виробів, які тестуються в однакових умовах протягом певного часу до відмови всіх виробів у партії. Введемо такі позначення:

- $N(0)$ - кількість придатних виробів перед початком випробовувань $t=0$;
- $n(t)$ - кількість виробів, які відмовили в момент часу t ;
- $n(t+t_0)$ - кількість виробів, які відмовили до моменту $t+t_0$;
- $\Delta n(t_1, t_0)$ - кількість виробів, які відмовили в проміжку часу від t до $t+t_0$;
- $N(t)$ кількість придатних виробів в момент часу t ;
- $N(t+t_0)$ - кількість виробів, придатних в момент часу $t+t_0$.

Таблиця 1.1

Відома функція	P(t)	Q(t)	f(t)	$\lambda(t)$
P(t)	-	1-P(t)	$-\frac{d}{dt}[P(t)]$	$-\frac{1}{P(t)dt} \cdot \frac{d}{dt}[P(t)]$
Q(t)	1-Q(t)	-	$\frac{d}{dt}[Q(t)]$	$-\frac{1}{Q(t)dt} \cdot \frac{d}{dt}[Q(t)]$
f(t)	$\int_t^\infty f(t)dt$	$\int_0^t f(t)dt$	-	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(t)dt}$
$\lambda(t)$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$	$1 - \exp\left[-\int_0^t 1(t)dt\right]$	$1(t)\exp\left[-\int_0^t 1(t)dt\right]$	-

Розглянемо ще одну умову, яка передбачає безперервний контроль часу роботи виробів та фіксацію моменту їх відмови під час випробувань. З урахуванням цього припущення основні показники безвідмовності визначаються наступним чином: Ймовірність безвідмовної роботи P(t) у проміжку часу від 0 до t визначається як відношення кількості виробів, які працювали безвідмовно до моменту часу t, до загальної кількості виробів, які були в початковий момент часу придатними до роботи t=0:

$$\hat{P}(t_0) = \frac{N(t_0)}{N(0)} = \frac{N(0) - n(t_0)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t)}{N(0)} \quad (1.12)$$

У деяких випадках необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи протягом періоду від t до t+t₀, це є умовною ймовірністю того, що випадковий час роботи виробу до моменту відмови перевищить значення t+t₀ за умови, що виріб вже працював безвідмовно до моменту часу t:

$$P(t, t + t_0) = \frac{P(t + t_0)}{P(t)} \quad (1.13)$$

По аналогії з (1.12) вираз (1.13) можна перетворити до виду

$$\hat{P} = (t, t + t_0) = \frac{N(t + t_0)}{N(0)} \frac{N(0)}{N(t)} = \frac{N(t + t_0)}{N(t)} \quad (1.14)$$

Щільність розподілу наробітку до відмови, позначена як $\hat{f}(t)$ визначається як співвідношення кількості відмов у проміжку часу $(t, t + \Delta t)$ до добутку кількості початково придатних виробів в момент часу $t=0$, помноженого на тривалість невеликого проміжку часу Δt

$$\hat{f}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(0) \cdot \Delta t} = \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{N(0) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t, \Delta t)}{N(0) \cdot \Delta t} \cdot p \quad \text{при } t \rightarrow 0 \quad (1.15)$$

У протилежність щільності розподілу наробітку до відмови, інтенсивність відмов $\hat{l}(t)$ визначається як співвідношення кількості відмов у проміжку $[t, t + \Delta t]$ до добутку кількості справних виробів в момент часу, помноженого на тривалість невеликого проміжку часу Δt :

$$\hat{l}(t) = \frac{n(t + Dt) - n(t)}{N(t) \cdot Dt} = \frac{N(t + Dt) - N(t)}{N(t) \cdot Dt} = \frac{Dn(t, Dt)}{N(t) \cdot Dt}, \quad \text{при } t \rightarrow 0 \quad (1.16)$$

Важливо зазначити, що інтенсивність відмов $\hat{l}(t)$ відрізняється від щільності розподілу наробітку до відмови $\hat{f}(t)$ тим, що в першому випадку розрахунок ведеться відносно кількості справних виробів на даний момент часу, тоді як у другому випадку - на початковий момент часу $t=0$.

Середній наробіток до відмови визначається як середнє арифметичне значення наробітку всіх виробів, які використовуються під час експлуатації.

$$\bar{t} = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} t_i \quad (1.17)$$

Ці співвідношення, які були розглянуті вище, застосовуються до будь-яких типів невідновлюваних виробів, для яких заздалегідь не відомі закони розподілу показників надійності. Проте їх використання для розрахунку надійності напівпровідникових приладів і мікросхем, а також для прогнозування їх поведінки на тривалий період, має обмеження. Це обумовлено високою надійністю цих виробів і рідкісністю випадків відмов. Тому для отримання достовірної інформації для розрахунків надійності потрібно проводити тривалі

випробування. Крім того, відсутність даних про закони розподілу відмов не дозволяє розповсюджувати результати розрахунків за межі часу випробувань і прогнозувати надійність на тривалий період. Ці обставини створюють необхідність апроксимувати розподіли наробітку до відмови, отримані в результаті випробувань, не емпіричними формулами, а використовувати відомі закони розподілу випадкових величин.

Для підвищення точності оцінки надійності та прогнозування довгострокової поведінки напівпровідникових приладів і мікросхем необхідно застосовувати методи, що ґрунтуються на відомих законах розподілу випадкових величин. Одним із таких методів є використання різних розподілів, таких як експоненційний, нормальний, логнормальний та Вейбуллів.

Експоненційний розподіл широко застосовується для моделювання часу до відмови приладів, особливо коли відмови відбуваються випадково з постійною інтенсивністю. Щільність ймовірності експоненційного розподілу задається виразом:

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

де λ — це інтенсивність відмов.

Нормальний розподіл підходить для моделювання параметрів надійності, коли відмови зумовлені накопиченням дрібних дефектів і несправностей. Щільність ймовірності нормального розподілу визначається формулою:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

де μ — середнє значення, а σ — стандартне відхилення.

Логнормальний розподіл використовується, коли час до відмови має асиметричний характер, що часто зустрічається у напівпровідникових приладах. Щільність ймовірності логнормального розподілу задається виразом:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

де μ і σ — параметри логнормального розподілу.

Вейбуллів розподіл є універсальним і може описувати різні фази життя приладів: від початкових відмов до зносу. Щільність ймовірності Вейбуллова розподілу

визначається формулою:

$$f(t) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)}$$

де λ — параметр масштабу, k — параметр форми.

Для вибору відповідного закону розподілу необхідно проаналізувати дані, отримані в результаті випробувань, і підібрати модель, що найкраще описує ці дані. Для цього використовуються методи статистичного аналізу та перевірки гіпотез, такі як критерій згоди Пірсона, критерій Колмогорова-Смирнова, а також методи оцінки параметрів, такі як метод максимальної правдоподібності. Після визначення відповідного закону розподілу можна перейти до прогнозування надійності напівпровідникових приладів на тривалий період. Це дозволяє не тільки оцінити поточний стан надійності виробів, але й передбачити їх поведінку в майбутньому, що є важливим для планування технічного обслуговування та заміни обладнання.

Важливо також враховувати вплив різних факторів, що можуть впливати на надійність приладів, таких як умови експлуатації, якість виробництва, зберігання та транспортування. Комплексний підхід до оцінки надійності, що включає використання статистичних методів, аналізу даних випробувань та моделювання, дозволяє отримати більш точні та надійні результати.

Додатково до використання стандартних розподілів ймовірностей, важливим аспектом є застосування методів обробки та аналізу даних, що дозволяють краще розуміти і прогнозувати надійність напівпровідникових приладів.

1.2.1 Методи обробки та аналізу даних

Регресійний аналіз

Регресійний аналіз є потужним інструментом для виявлення залежностей між різними параметрами, що впливають на надійність. Застосовуючи лінійну або нелінійну регресію, можна моделювати вплив різних факторів на ймовірність відмов та середній наробіток до відмови. Це дозволяє створити моделі, які враховують вплив таких параметрів, як температура, вологість, напруга, частота роботи, механічні навантаження та інші зовнішні фактори. Лінійна регресія дозволяє визначити залежність між незалежною змінною X і залежною змінною Y . Модель лінійної регресії має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

де β_0 — вільний член, β_1 — коефіцієнт регресії, ϵ — похибка.

Байєсівські методи

Байєсівські методи дозволяють інтегрувати попередні знання та дані випробувань для отримання більш точних оцінок надійності. Цей підхід особливо корисний у випадках, коли обсяг даних випробувань обмежений або коли необхідно враховувати апріорну інформацію про властивості приладів. Використання байєсівських мереж дозволяє моделювати складні залежності між різними параметрами і факторами, що впливають на надійність. Байєсівська оцінка параметра θ здійснюється за допомогою формули:

$$P(\theta|D) = \frac{P(D|\theta)P(\theta)}{P(D)}$$

де $P(\theta|D)$ апостеріорна ймовірність параметра θ за даними D , $P(D|\theta)$ — правдоподібність даних при параметрі θ , $P(\theta)$ — апріорна ймовірність параметра θ , $P(D)$ — ймовірність даних.

Аналіз виживаності

Аналіз виживаності використовується для аналізу часу до відмови приладів. Цей метод дозволяє враховувати дані про частково завершені випробування (цензуровані дані), коли деякі прилади ще не відмовили до моменту завершення випробувань. Це дозволяє більш точно оцінювати надійність та прогнозувати час до відмови. Функція надійності $S(t)$ визначається як ймовірність того, що виріб не відмовить до моменту часу t :

$$S(t) = P(T > t)$$

де T — випадкова змінна, що представляє час до відмови. Щільність ймовірності $f(t)$ визначає ймовірність того, що відмова відбудеться в момент часу t :

$$f(t) = \frac{d}{dt}[1 - S(t)]$$

Моделювання Монте-Карло

Метод Монте-Карло дозволяє проводити числові експерименти для моделювання процесів відмов приладів. Цей підхід полягає в проведенні великої кількості імітаційних випробувань з використанням випадкових значень параметрів, що дозволяє оцінити розподіли часу до відмови та інші показники надійності. Метод Монте-Карло особливо корисний для аналізу складних систем, де вплив різних факторів важко врахувати аналітичними методами. Метод Монте-Карло використовує випадкові числа для моделювання процесів. Наприклад, для оцінки інтегралу:

$$I = \int_a^b f(x)dx$$

можна використовувати середнє значення функції $f(x)$ на випадково вибраних точках x_i у межах $[a, b]$:

$$I \approx \frac{b-a}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i)$$

де N — кількість випадкових точок.

Управління надійністю

Для ефективного управління надійністю необхідно впроваджувати комплексні програми, що включають контроль якості на всіх етапах виробництва, регулярні випробування, моніторинг стану приладів під час експлуатації та своєчасне технічне обслуговування. Важливим аспектом є також зворотний зв'язок від користувачів, що дозволяє вчасно виявляти проблеми та вживати заходів для їх усунення.

Програми технічного обслуговування

Регулярні перевірки та тестування приладів включають застосування формули середнього часу між відмовами (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Час роботи}}{\text{Кількість відмов}}$$

Аналіз відмов

Аналіз відмов є систематичним підходом до виявлення і аналізу потенційних відмов приладів. Цей метод дозволяє визначити причини відмов, оцінити їх наслідки та розробити заходи щодо їх попередження. Результати аналізу FMEA можуть бути використані для вдосконалення конструкції та технології виробництва приладів.

Постійний моніторинг та збір даних

Впровадження систем постійного моніторингу стану приладів дозволяє в режимі реального часу отримувати дані про їх роботу та виявляти відхилення від нормальної поведінки. Зібрані дані можуть бути використані для аналізу надійності, прогнозування відмов та прийняття рішень про проведення технічного обслуговування.

Застосування комплексного підходу до оцінки та управління надійністю напівпровідникових приладів дозволяє досягти високої точності прогнозів та ефективно планувати технічне обслуговування. Використання статистичних методів, аналізу даних випробувань, моделювання та впровадження сучасних технологій моніторингу забезпечує надійність приладів на високому рівні, що є критично важливим для сучасних технологій та промислових застосувань.

1.3 Висновки по розділу

Аналітичний метод оцінки надійності забезпечує систематичний підхід до кількісного визначення надійності виробів шляхом використання одиничних та комплексних показників. Одиничні показники, такі як ймовірність безвідмовної роботи, відмовність, щільність ймовірності та інтенсивність відмов, дозволяють оцінювати окремі аспекти надійності виробів, тоді як комплексні показники об'єднують кілька властивостей для всебічного аналізу, зокрема для відновлюваних виробів.

Ймовірність безвідмовної роботи ($P(t)$) та ймовірність відмови ($Q(t)$) є основними одиничними показниками безвідмовності, що можуть бути виражені через інтегральну функцію розподілу. Інтенсивність відмов ($\lambda(t)$) характеризує ймовірність відмови у певний момент часу за умови, що виріб до цього моменту не відмовив. Для невідновлюваних виробів інтенсивність відмов має особливе значення.

Математичні методи дозволяють визначити залежність між показниками надійності, зокрема через інтегрування та експоненційні функції, що представляють зміни ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови у часі. Врахування статистичних ймовірнісних характеристик, визначених експериментально, є необхідним для точного визначення показників надійності, особливо для електронних та напівпровідникових приладів, що вимагає тривалих випробувань та аналізу великих обсягів даних.

Використання відомих законів розподілу, таких як експоненційний, нормальний, логнормальний та Вейбуллів, дозволяє апроксимувати розподіли наробітку до відмови та прогнозувати довгострокову надійність виробів. Методи обробки та аналізу даних, зокрема регресійний аналіз та байєсівські методи, доповнюють аналітичний підхід, забезпечуючи більш точні та надійні результати.

Загалом, комплексний підхід до оцінки надійності, що поєднує математичні моделі, статистичний аналіз та емпіричні дані, дозволяє глибше розуміти поведінку виробів у часі, планувати технічне обслуговування та заміну обладнання, підвищуючи ефективність та надійність експлуатації.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ

2.1 Аналітичний метод розрахунку надійності

Аналітичне розв'язання класичної задачі надійності значною мірою базується на поданні залежності $y(X)$ у вигляді надійнісного графа. Наприклад, на рис. 2.1 показано граф деякої системи, що складається з чотирьох елементів. Вважається, що відмова i -го елемента призводить до зникнення i -го ребра графа (ребра зображаються у вигляді прямокутників). Система в цілому вважається такою, що відмовила, коли між полюсами А і В не залишається жодного шляху.

Такий граф визначає стан системи для будь-яких станів елементів, тобто повністю визначає функцію $y(X)$. Якщо всі елементи в графі паралельні (рис. 2.1), то система відмовляє тоді і тільки тоді, коли відмовляють всі елементи (всі $x_i=1$), тобто

$$y = \prod x_i \quad (2.1)$$

Отже для паралельного з'єднання

$$Q = M(y) = M\left(\prod x_i\right) = \prod M(x_i) = \prod p_i \quad (2.2)$$

Тут $\prod$ - символ добутку а $M(\prod x_i) = \prod M(x_i)$ через незалежність x_i , $i=1\dots n$

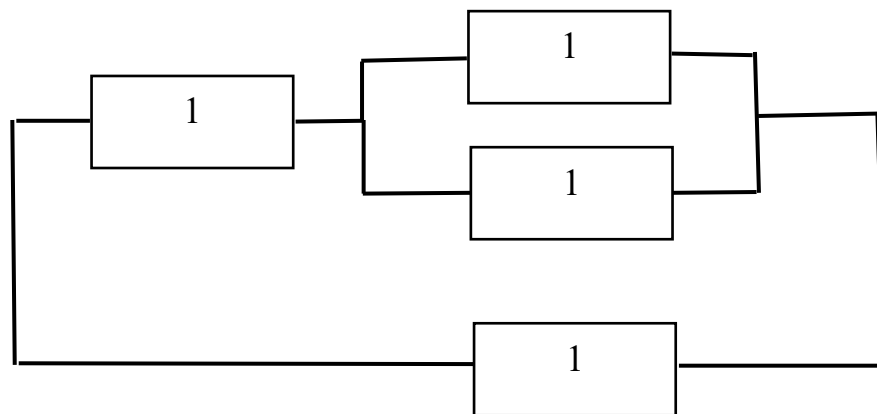


Рисунок 2.1 - Приклад надійнісного графа

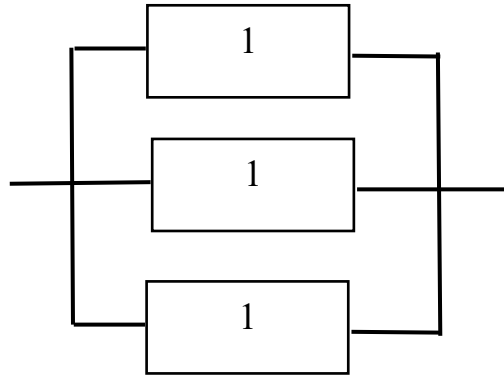


Рисунок 2.2 - Паралельне з'єднання елементів

Якщо елементи сполучені послідовно (рис. 4), то система працює ($y = 0$) тоді і тільки тоді, коли працюють всі елементи (всі $x_i = 0$). Цей факт можна виразити формулою

$$y = 1 - \prod (1 - x_i) \quad (2.3)$$

Отже для такого з'єднання

$$Q = M(y) = 1 - \prod M(1 - x_i) = 1 - \prod (1 - p_i) = 1 - \prod q_i \quad (2.4)$$

Використовуючи формули (2.2) і (2.4), можемо розрахувати надійність будь-якої системи, зображеної у вигляді паралельно-послідовного (приводимого) графа. Наприклад, для графа на рис. 2.2 "паралельна" формула (2.2) застосовується до паралельного з'єднання ребра 4 і групи ребер 1, 2, 3. Імовірність відмови для групи ребер 1, 2, 3 виражається за допомогою "послідовної" формули p_i і через імовірність відмови групи 2, 3. А остання імовірність - прямо через імовірність $p_2 p_3$:

$$\begin{aligned} Q = M(y) &= p_4 p_{123} = p_4 (1 - q_1 p_{23}) = p_4 (1 - q_1 (1 - q_{123})) \\ &= p_4 (1 - q_1 (1 - p_2 p_3)) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Формула, отримана для рис. 2.2, має чотири вхідних аргументи, і її довжина дорівнює 5. Для графа, що приводиться, з n елементів довжина розрахункової формули буде дорівнювати n . Як видно, формули для приводимих графів виходять компактними і простими для обчислень.

Крім того, процес отримання розрахункової формули є доволі простим. Він не вимагає аналізу функції $y(X)$ або шляхів між точками А і В. Натомість виконується розбиття графа на підграфи.

Схеми з циклами

Проте аналітичний метод розрахунку значно ускладнюється, якщо надійнісний граф не є приводимим (як на рис. 2.3), або якщо він є багатополісним (як на рис. 2.4), або якщо залежність $y(X)$ взагалі не можна зобразити надійнісним графом. У таких випадках для отримання точної формули розрахунку $M(y)$ часто доводиться аналізувати всю множину елементарних результатів ВВ $X=(x_1, \dots, x_n)$ з тим, щоб визначити, які з них дають результат $y(X)=1$, і знайти для таких суму їх імовірностей, що становлять значення $Q=M(y)$. Наприклад, для рис. 2.3 маємо $2^5 = 32$ результати. Імовірність відмови системи визначається як сума імовірностей тих результатів, в яких $y=1$.

Так, результат $X=01001$ означає, що $x_1=0$, $x_2=1$, $x_3=0$, $x_4=0$, $x_5=1$ (тобто елементи 2 і 5 відмовили). Розглядаємо рис. 2.3. Ми бачимо, що при видаленнях ребер 2 і 5 полюси незв'язні. Отже, для цього результату $y=1$. Підсумовуючи імовірності всіх результатів з $y=1$, одержуємо для рис. 2.3 таку розрахункову формулу:

$$M(y) = q_1 p_2 q_3 q_4 p_5 + q_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + q_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + q_1 p_2 p_3 p_4 p_5 + \\ p_1 q_2 q_3 p_4 q_5 + p_1 q_2 q_3 p_4 p_5 + p_1 q_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 + p_1 q_2 p_3 p_4 p_5 + \\ p_1 p_2 q_3 q_4 p_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 q_5 + p_1 p_2 q_3 p_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 q_4 p_5 + p_1 p_2 p_3 p_4 q_5 + \\ p_1 p_2 p_3 p_4 p_5$$

або після спрощення:

$$Q = M(y) = p_1 p_4 + p_2 p_5 (1 - p_1 p_4) + p_3 (q_1 p_2 p_4 q_4 + p_1 q_2 q_4 p_5) \quad (2.6)$$

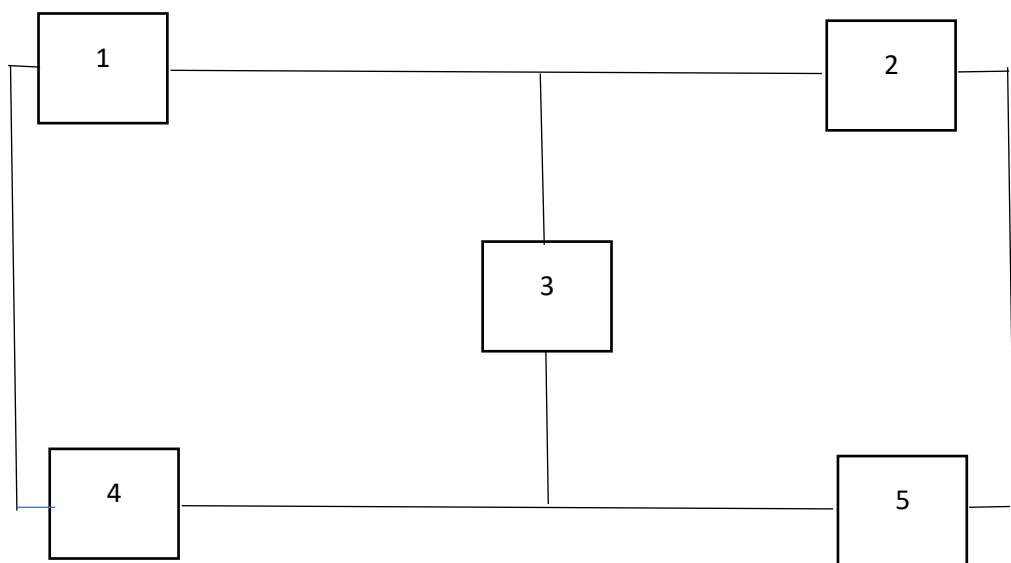


Рисунок 2.3 - Приклад неприводимого графа

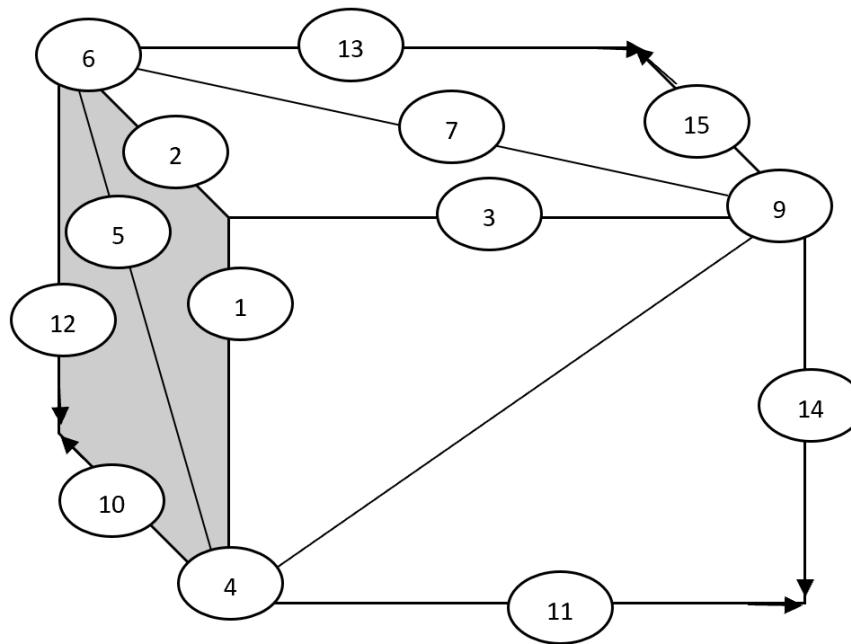
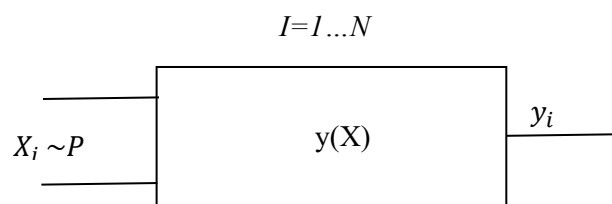


Рисунок 2.4 - Багатополюсний граф

Найскладнішою частиною аналітичного розрахунку надійності в таких випадках є визначення значення y для всіх 2^n значень X , оскільки для цього потрібно 2^n разів проаналізувати зв'язність полюсів графа. Якщо ж залежність $y(X)$ задана не графом, а, наприклад, деяким алгоритмом, то потрібно 2^n разів виконати цей алгоритм.

2.2 Статистичний метод розрахунку надійності

Статистичний розрахунок $M(y)$ виконується за типовою схемою статистичного експерименту. ВВ X є n -мірною двійковою, а функція $y(X)$ обчислюється за графом або за будь-якою іншою формою задання залежності $y(X)$. Час обчислення $y(X)$ в одному досліді за графом приблизно пропорційний кількості елементів системи.



$$\tilde{M}_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

Рисунок 2.5 - Схема статистичного розрахунку надійності

У кожному з N дослідів значення БВ X - (x),...,x2) одержується за такою схемою:

IF RANDOM < p_1 THEN $x_1 := 1$ ELSE $x_1 := 0$;

IF RANDOM < p_2 THEN $x_2 := 1$ ELSE $x_2 := 0$;

IF RANDOM < x_n THEN $x_n := 1$ ELSE $x_n := 0$,

де RANDOM - незалежне значення БВВ. Або, якщо імовірність

$P_1, P_2 \dots, P_i$ заздалегідь записані в масив P, то $x_1, x_2 \dots, x_i$ одержується за допомогою циклу:

FOR i = 1 TO n DO

IF RANDOM < P[i] THEN $x[i] := 1$ ELSE $x[i] := 0$.

Оцінимо витрати машинного часу на весь розрахунок надійності.

Нехай, наприклад, потрібно одержати оцінку імовірності з точністю $y=0.1$, де v - коефіцієнт варіації оцінки. Зазвичай така точність достатня для практичних цілей. Тоді кількість дослідів:

$$N = \left(\frac{v_y}{v}\right) = \left(\frac{v_y}{0.1}\right) = 100 v_y^2$$

$$\text{де } v_y^2 = \frac{D(y)}{M^2(y)} = \frac{Q(1-Q)}{Q^2} = \frac{(1-Q)}{Q}$$

Як правило, імовірність відмови системи Q мала, тому $v_y^2 = \frac{(1-Q)}{Q} = \frac{1}{Q}$

$$N = \frac{100}{Q}$$

Тут бачимо чудову властивість статистичного методу розрахунку: кількість дослідів N залежить від надійності і точності v , але не залежить від кількості елементів у системі. Скільки б елементів у ній не було - десятки, сотні або мільйони - для статистичного розрахунку достатньо близько 100/0 обчислень функції $y(X)$.

2.3 Порівняння статистичного та аналітичного методу розрахунку надійності

Як аналітичний розрахунок надійності, так і статистичний мають свої переваги і недоліки.

Перевага аналітичного методу полягає в його аналітичності: він дає змогу виразити шукану характеристику через задані параметри

$p_1 \dots p_n$ у загальному вигляді (у вигляді формули). Основний недолік аналітичного методу - трудомісткість розрахунку надійності систем, що не приводяться. Час розрахунку систем, що не приводяться, стає пропорційним n як 2^n (де n - кількість елементів системи), тоді як для систем, що приводяться, - просто пропорційно n .

Основна перевага статистичного методу полягає якраз у можливості швидко розрахувати надійність будь-яких систем, зокрема тих, що не приводяться. Трудомісткість розрахунку будь-яких систем пропорційна n .

Основний недолік - статистичний розрахунок виходить наближеним і лише для конкретних числових значень $p_1 \dots p_n$. Якщо потрібно досліджувати залежність від цих параметрів, то доводиться повторювати розрахунок для їх нових значень.

Значне утруднення виникає і під час розрахунку за статистичним методом високонадійних систем. З попереднього прикладу очевидно, що у разі малої імовірності кількість дослідів N може виявитися дуже великою.

Згідно з наведеним вище прикладом для розрахунку за статистичним методом було б потрібно порядку $N = 10^{10}$ дослідів. Експерименти з таким N важко здійснювати навіть на сучасних комп'ютерах.

2.4 Висновки до розділу

У цьому розділі були розглянуті два основних методи розрахунку надійності:

Статистичний метод: Статистичний метод розрахунку надійності ґрунтується на моделюванні роботи системи та аналізі даних про її відмови. Цей метод використовується, коли неможливо або складно створити математичну модель об'єкта.

Аналітичний метод: Цей метод використовує математичні формули для прогнозування надійності систем. Він може бути простим і швидким, але може не бути таким точним, як статистичний метод.

Тип системи:

Статистичний метод:

Може бути використаний для будь-яких систем, незалежно від їх складності. Не потребує знання внутрішньої структури системи.

Аналітичний метод:

Більш підходить для простих систем з чітко визначеними зв'язками між елементами.

Може бути складним для реалізації для складних систем.

Доступність даних:**Статистичний метод:**

Вимагає даних про відмови та несправності системи.

Дані можуть бути отримані з експлуатації, випробувань або інших джерел.

Чим більше даних доступно, тим точніший буде результат.

Аналітичний метод:

Може потребувати меншу кількість даних, якщо доступні теоретичні моделі надійності елементів.

Якість результату залежить від точності та повноти доступних даних.

Необхідна точність:**Статистичний метод:**

Зазвичай дає наближені результати.

Точність результату залежить від кількості доступних даних.

Аналітичний метод:

Може давати більш точні результати.

Точність результату залежить від точності теоретичних моделей, що використовуються.

Наявність ресурсів:**Статистичний метод:**

Може потребувати значних обчислювальних ресурсів.

Може потребувати часу для реалізації.

Аналітичний метод:

Зазвичай потребує менше обчислювальних ресурсів.

Може бути реалізований швидше.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТКМ

3.1 Оцінювання якості імітаційного моделювання

Оцінювання якості моделі є завершальним етапом її розроблення і має на меті:

- перевірити відповідність моделі її призначенню (цілям дослідження);
- оцінити достовірність і статистичні характеристики результатів, які одержують під час проведення модельних експериментів.

Під час аналітичного моделювання достовірність результатів визначається двома основними факторами:

- 1) коректним вибором математичного апарата, використовуваного для описування досліджуваної системи;
- 2) методичною помилкою, властивою цьому математичному методу.

Під час імітаційного моделювання на достовірність результатів впливає низка додаткових факторів, основними з яких є:

- моделювання випадкових факторів, засноване на використанні генераторів випадкових чисел, які можуть вносити "спотворення" в поведінку моделі;
- наявність нестационарного режиму роботи моделі;
- використання декількох різнотипних математичних методів у межах однієї моделі;
- залежність результатів моделювання від плану експерименту;
- необхідність синхронізації роботи окремих компонентів моделі;
- наявність в моделі робочого навантаження, якість якого залежить, своєю чергою, від тих самих факторів.

Придатність імітаційної моделі для виконання завдань дослідження характеризується тим, якого ступеня вона має так звані цільові властивості.

Основними з них є:

- адекватність;
- стійкість;
- чутливість.

3.2 Оцінювання адекватності моделі

У загальному розумінні адекватність означає ступінь відповідності моделі реальному явищу або об'єкту, який вона описує. Зазвичай модель розробляється для дослідження певної підмножини властивостей цього об'єкта, тому адекватність моделі визначається не стільки відповідністю реальному об'єкту, скільки відповідністю цілям дослідження. Це твердження особливо актуальне для моделей проєктованих систем, коли реальна система ще не існує.

Однак, часто потрібно мати формальне підтвердження адекватності розробленої моделі. Один з найпоширеніших способів такого обґрунтування - використання методів математичної статистики. Суть цих методів полягає у перевірці гіпотези (в даному випадку - про адекватність моделі) на основі певних статистичних критеріїв. Важливо пам'ятати, що статистичні критерії не можуть довести жодної гіпотези, вони можуть лише вказати на відсутність її спростування.

Як же можна оцінити адекватність розробленої моделі реальній системі? Процедура оцінки заснована на порівнянні вимірювань на реальній системі і результатів експериментів на моделі, і її можна проводити різними способами. Найпоширеніші з них:

- за середніми значеннями відгуків моделі та системи;
- за дисперсіями відхилень відгуків моделі від середнього значення відгуків системи;
- за максимальним значенням відносних відхилень відгуків моделі від відгуків системи.

Ці методи оцінки по суті дуже схожі між собою, тому обмежимося розглядом першого з них. При цьому способі перевіряють гіпотезу про близькість середнього значення спостережуваної змінної $\bar{Y}$ до середнього значення відгуку реальної системи μ .

Додаткові аспекти оцінки адекватності

Перевірка гіпотез за середніми значеннями

Для перевірки гіпотези про адекватність моделі використовують t-тест для порівняння середніх значень:

$$t = \frac{\bar{Y} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

де $\bar{Y}$ — середнє значення відгуків моделі, μ — середнє значення відгуків реальної системи, σ — стандартне відхилення, n — кількість спостережень.

Перевірка гіпотез за дисперсіями

Для перевірки відповідності дисперсій використовують F-тест:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$

де σ_1^2 та σ_2^2 — дисперсії відгуків моделі і реальної системи відповідно. Якщо значення F знаходиться в межах критичного інтервалу, гіпотеза про рівність дисперсій не відхиляється.

Перевірка максимальних відносних відхилень

Перевірка за максимальними відносними відхиленнями передбачає розрахунок відносних відхилень для кожного спостереження: де Y_i — відгук системи, Y_i^* — відгук моделі. Максимальне значення відносного відхилення $\delta_{\max}$ порівнюється з допустимим значенням.

Системний підхід до оцінки адекватності

Системний підхід до оцінки адекватності моделі включає комплексний аналіз різних аспектів відповідності моделі реальній системі. Враховуються не лише статистичні показники, а й експертні оцінки, результати випробувань, а також контекст використання моделі.

Такий підхід забезпечує більш повне розуміння того, наскільки модель відображає реальність і чи може вона бути використана для прийняття рішень у конкретних умовах. Використання цього підходу допомагає забезпечити високу якість та надійність розроблених моделей.

Після виконання N_0 дослідів на реальній системі отримують вибірку значень Y^* . Виконавши m експериментів на моделі, отримують множину значень спостережуваної змінної y . Далі обчислюють оцінки математичного очікування і дисперсії відгуків моделі та системи, і висувають гіпотезу про близькість середніх значень величин Y^* і Y (у статистичному сенсі).

Для перевірки гіпотези використовують t -статистику (розподіл Стюдента). Значення t , обчислене за результатами випробувань, порівнюється з критичним значенням $t_{\text{кр}}$ з таблиці. Якщо виконується нерівність $t < t_{\text{кр}}$, гіпотеза приймається.

Статистичні методи можуть бути використані лише тоді, коли оцінюється адекватність моделі існуючій системі. У випадку проектованої системи вимірювання неможливі. Єдиний спосіб вирішити цю проблему — прийняти як еталон концептуальну модель проектованої системи. Оцінка адекватності програмно реалізованої моделі полягає в перевірці того, наскільки вона коректно відображає концептуальну модель. Це схоже з перевіркою коректності будь-якої комп'ютерної програми і може бути вирішено методами тестування.

У разі, коли модель успішно пройшла тестування, можна перейти до етапу валідації, де порівнюють результати моделювання з очікуваними результатами або даними з реальної системи (якщо такі є). Якщо результати моделювання

відповідають очікуванням або спостережуваним даним, модель вважається валідною.

Якщо валідація показує невідповідності, модель необхідно коригувати, виявляючи причини невідповідностей та вносячи відповідні зміни. Процес валідації та коригування може бути ітеративним, поки не буде досягнуто задовільної точності.

Крім того, важливо враховувати, що модель, яка є адекватною для одного набору умов, може бути неадекватною для іншого. Тому важливо проводити валідацію моделі в різних умовах експлуатації та з різними наборами початкових даних. Це дозволяє оцінити стійкість та універсальність моделі.

Ще одним важливим аспектом є документування всіх етапів моделювання, включаючи опис моделі, методи тестування, результати валідації та будь-які внесені корективи. Це забезпечує прозорість процесу моделювання та можливість його відтворення в майбутньому.

3.3 Оцінювання стійкості моделі

Під час оцінювання адекватності моделі як для існуючих, так і для проєктованих систем, реально можна використовувати лише обмежену підмножину всіх можливих значень вхідних параметрів (робочого навантаження і зовнішнього середовища). Тому для обґрунтування достовірності одержуваних результатів моделювання велике значення має перевірка стійкості моделі. У теорії моделювання це поняття трактується так:

Стійкість моделі - це її здатність зберігати адекватність під час дослідження ефективності системи на всьому можливому діапазоні робочого навантаження, а також у разі внесення змін до конфігурації системи.

Як можна оцінити стійкість моделі? Універсальної процедури перевірки стійкості моделі не існує. Розробник вимушений вдаватися до методів, що підходять для конкретного випадку часткових тестів і здорового глузду.

Часто корисною є апостеріорна перевірка, яка полягає в порівнянні результатів моделювання з результатами вимірювань на системі після внесення змін. Якщо результати моделювання є прийнятними, впевненість у стійкості моделі зростає. Загалом, можна стверджувати, що чим ближче структура моделі до структури системи і чим вищий ступінь деталізації, тим стійкіша модель.

Стійкість результатів моделювання можна також оцінити методами математичної статистики. Основне завдання математичної статистики полягає в перевірці гіпотези щодо властивостей генеральної сукупності, оцінюючи властивості вибірки. У генеральній сукупності дослідника зазвичай цікавить деяка ознака, яка зумовлена випадковістю і може мати якісний або кількісний

характер. У цьому контексті стійкість результатів моделювання розглядається як ознака, що підлягає оцінюванню.

Для перевірки гіпотези про стійкість результатів можна використати критерій Уїлкоксона. Він перевіряє, чи належать дві вибірки до однієї і тієї самої генеральної сукупності, тобто чи мають вони одну і ту ж саму статистичну ознаку.

Наприклад, у двох партіях продукції вимірюється певна ознака, і потрібно перевірити гіпотезу про те, що ця ознака має в обох партіях однаковий розподіл. Іншими словами, необхідно переконатися, що технологічний процес незначно змінюється від партії до партії.

Під час статистичного оцінювання стійкості моделі відповідну гіпотезу можна сформулювати так: при зміні вхідного (робочого) навантаження або структури моделі закон розподілу результатів моделювання залишається незмінним. Перевіряють цю гіпотезу за такими початковими даними: мають дві вибірки значень робочого навантаження, щодо яких не роблять припущень про закони розподілу.

Значення обох вибірок упорядковують разом у порядку зростання і аналізують їх взаємне розташування. Якщо значення з однієї вибірки постійно випереджають значення з іншої вибірки, це свідчить про наявність інверсій.

3.4 Оброблення і аналіз результатів моделювання систем

Успішна реалізація концепції статистичного моделювання систем тісно залежить від обмежених можливостей обчислювальних ресурсів комп'ютерів. Це означає, що вивчаючи теоретичні аспекти машинної імітації, які переважно відносяться до математичної статистики, необхідно враховувати специфіку обробки експериментальних даних на комп'ютерах. Успіх імітаційного експерименту з моделлю системи значно визначається правильним підходом до обробки, аналізу і інтерпретації отриманих результатів.

Особливо важливо вирішити проблему ефективної обробки експериментальних даних при використанні моделі для автоматизації проектування систем. Після планування машинного експерименту необхідно вжити заходів для організації ефективної обробки та подання результатів. Проблема статистичної обробки результатів експерименту з моделлю є тісно пов'язаною зі стратегічним і тактичним плануванням, проте її важливість та специфіка в машинному обробленні результатів виділяють її як самостійну проблему.

Треба мати на увазі, що методи обробки результатів моделювання, що застосовуються на практиці, представляють лише частину можливостей

математичної статистики. У виборі методів обробки результатів машинних експериментів з моделлю системи важливо враховувати три особливості:

1. Здатність отримувати великі вибірки під час моделювання системи надає можливість кількісно оцінити характеристики функціонування системи, але це створює серйозну проблему зберігання проміжних результатів моделювання. Цю проблему можна вирішити за допомогою рекурентних алгоритмів оброблення, коли оцінки обчислюються під час моделювання, а великий обсяг вибірки дозволяє користуватися простими для обчислень асимптотичними формулами, які підходять для обчислень на ЕОМ.

2. Складність досліджуваної системи S під час її моделювання на ЕОМ часто ускладнює апріорне уявлення про характеристики функціонування системи, наприклад, про тип очікуваного розподілу вихідних змінних. Тому під час моделювання систем широко використовують непараметричні оцінки і оцінки моментів розподілу.

3. Блокова структура машинної моделі M_m та окреме дослідження блоків пов'язані з програмною імітацією вхідних змінних для однієї часткової моделі за оцінками вихідних змінних, отриманих на іншій частковій моделі. Якщо ЕОМ, що використовується для моделювання, не дозволяє використовувати змінні, збережені на зовнішніх носіях, то необхідно перетворити ці змінні у форму, зручну для побудови алгоритму їх імітації.

3.5 Підбір параметрів розподілів

У деяких випадках складну імітаційну модель системи можна розглядати як сукупність окремих моделей підсистем, що взаємодіють між собою. Під час проведення експериментів з такою моделлю для скорочення витрат часу може виникати необхідність замінювати моделювання роботи окремих підсистем числовими параметрами (параметризацією) або випадковими величинами, що мають певний заданий розподіл. Для правильної заміни дослідник повинен мати доступ до опису залежності наявного числового параметра від часу і інших факторів, що враховуються у моделі.

Під час імітаційного моделювання вибір законів розподілу зазвичай здійснюється на основі статистичних даних, отриманих під час проведення експерименту. Процедура визначення закону розподілу деякої величини за експериментальними даними базується на перевірці статистичних гіпотез.

Статистична гіпотеза в цьому контексті - це твердження про значення одного або декількох параметрів розподілу певної величини або про саму форму розподілу.

Зазвичай вибирають дві початкові гіпотези: основну H_0 та альтернативну H_1 . При розгляді цих гіпотез дослідник вирішує, чи прийняти H_0 чи відхилити її.

Якщо в результаті перевірки гіпотези H_0 помилково відхилено, то це призводить до помилки першого роду (що має важливі наслідки); якщо гіпотезу H_0 прийнято, коли H_1 насправді істинна, це називається помилкою другого роду.

Імовірність помилок першого і другого роду (позначені як α і β) залежать від критерію, на підставі якого вибирається одна з гіпотез. Очевидно, що імовірність цих двох помилок взаємозв'язана, тобто, чим більше значення α , тим менше β і навпаки.

Зазвичай вирішення цієї проблеми полягає в тому, що вибирають певне фіксоване значення α (зазвичай, 0.05, 0.01, 0.001) і сподіваються, що β також буде малим. Фіксоване значення α називається рівнем значущості.

Для обраного значення α визначають так звану критичну область B , що задовольняє умову $P(Z \in B | H_0 \text{ справджується}) \leq \alpha$, де Z - контрольна величина (критерій), що є функцією від вибірки (результатів експерименту).

Перевірка гіпотези полягає в наступному. Здійснюється вибірка (експеримент), на основі якої обчислюється z - часткове значення критерію Z . Якщо z не потрапляє у B , то відхиляють гіпотезу H_0 . Якщо z потрапляє у B , то кажуть, що одержані спостереження не суперечать H_0 .

Зрозуміло, перш ніж висувати гіпотезу щодо значень параметрів розподілу, необхідно визначити вид самого закону розподілу. Найпоширеніший на практиці та ефективний метод підбору закону розподілу базується на графічному представленні експериментальних даних. Їх можна відображати у вигляді гістограми відносних частот, яку можна побудувати як вручну, так і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

3.6 Оцінювання впливу і взаємозв'язку факторів

Оцінювання впливу різних факторів на показник ефективності часто є складним завданням, особливо коли фактори взаємопов'язані. Найпростішим способом вирішити цю проблему є використання результатів аналізу чутливості моделі. Однак ці результати важко представити у вигляді аналітичної залежності, що може бути корисним для багатьох практичних завдань, пов'язаних з розробкою моделей та прийняттям рішень на основі експериментальних даних.

Для відшукування аналітичних співвідношень між різними параметрами моделі можна об'єднати групу методів математичної статистики: дисперсійний аналіз (для оцінки впливу факторів), кореляційний аналіз (для виявлення зв'язків між параметрами) та регресійний аналіз (для побудови аналітичних залежностей). Такий комплексний підхід дозволить краще зрозуміти взаємозв'язки між факторами та їх вплив на результуючий показник.

Отримані аналітичні вирази можна використовувати для параметризації та вдосконалення моделей, а також для прийняття більш обґрунтованих рішень на основі експериментальних даних. Це особливо корисно в ситуаціях, коли складно безпосередньо оцінити вплив кожного фактора окремо.

Параметризація моделей - це важливий аспект їх розробки та вдосконалення. Аналітичні вирази, що пов'язують різні параметри моделі, дозволяють зрозуміти, як зміна одного параметра впливає на інші та на загальну поведінку моделі. Це дає змогу цілеспрямовано підбирати значення параметрів для досягнення бажаних характеристик моделі.

Крім того, наявність аналітичних співвідношень між параметрами моделі та показниками ефективності полегшує інтерпретацію результатів та прийняття рішень на їх основі. Замість того, щоб покладатися лише на числові значення, можна проаналізувати взаємозв'язки між факторами та їхній вплив на кінцевий результат.

Комплексне застосування дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу є потужним інструментом для виявлення прихованих закономірностей у даних. Дисперсійний аналіз допомагає зрозуміти, які фактори є статистично значущими для пояснення варіації результуючої змінної. Кореляційний аналіз виявляє силу та напрямок зв'язків між параметрами. А регресійний аналіз дозволяє побудувати аналітичні моделі, що описують залежність результату від комбінації факторів.

Отримані аналітичні вирази можуть бути використані не лише для покращення моделей, але й для оптимізації та прогнозування. Наприклад, можна знайти оптимальні значення факторів для максимізації або мінімізації цільової функції, або спрогнозувати очікувані результати за певних умов.

Загалом, сполучення різних статистичних методів для отримання аналітичних залежностей є потужним інструментом для глибшого розуміння процесів та явищ, що вивчаються, та для прийняття більш обґрунтованих рішень на основі даних.

3.7 Однофакторний дисперсійний аналіз

Його суть зводиться до визначення впливу на результат моделювання одного вибраного фактора.

Приклад

Нехай, наприклад, дослідника цікавить середня інтенсивність відмов комп'ютера, і в створеній ним моделі враховані такі фактори: інтенсивність надходження завдань користувачів, інтенсивність звернень в оперативну пам'ять, часові характеристики виконуваних завдань і інтенсивність звернень до жорсткого диска. Якщо попередні дані свідчать про те, що основною причиною

відмов є ненадійна робота жорсткого диска, то як аналізований фактор доцільно вибрати інтенсивність звернень до нього. Завдання факторного аналізу в цьому разі полягає в тому, щоб оцінити вплив відзначеного фактора на середню кількість відмов.

Формально постановка завдання однофакторного дисперсійного аналізу полягає в такому. Нехай фактор x , що нас цікавить, має l рівнів. Для кожного з них одержана вибірка значень спостережуваної змінної $y: (1), y(2), \dots, y(l)$, $j=1, \dots, n$, де n - обсяг вибірки (кількість спостережень).

Необхідно перевірити гіпотезу H_0 про рівність середніх значень вибірок (тобто про незалежність значень y від значень досліджуваного фактора x). Рівняння однофакторного дисперсійного аналізу має вигляд

$$y_{ij} = m + a_i + e_{ij}$$

де y_{ij} - j -те значення y в i -й серії дослідів; m - генеральне середнє випадкової величини y (тобто середнє значення спостережуваної змінної, обумовлене її "суттю"); a_i - невідомий параметр, що відображає вплив фактора x ("ефект" i -го значення фактора x); e_{ij} - помилка вимірювання y .

Для перевірки гіпотези H_0 використовують F -критерій і переходять від перевірки значущості відмінностей середніх до перевірки значущості відмінностей двох дисперсій:

- генеральної (обумовленої похибками вимірювань) - D_0 ;
- факторної (обумовленої зміною фактора x) - D_x .

Значення F -критерію обчислюється як відношення D_x / D_0 або

D_0 / D_x (у чисельнику повинна перебувати більша з дисперсій); потім за таблицею F -розподілу знаходять його критичне значення k_r для заданого рівня значущості і числа ступенів свободи

$$m_1 = n - l, m_2 = l - 1$$

Якщо $F > k_r$, то гіпотезу H_0 відкидають, тобто відмінності є значущими (фактор x впливає на значення y).

3.8 Моделювання транспортних мереж методом графів

Теорія графів використовується для встановлення початкових умов у процесі моделювання транспортних потоків та систем, особливо коли необхідно моделювати транспортні потоки на автомагістралях. Для цього використовуються орієнтовані графи, в яких задаються конкретні початкові умови, такі як густота транспортного потоку на кожній вершині графу. Для пошуку оптимального рішення використовується розв'язання системи нелінійних

диференціальних рівнянь.

Розглянемо орієнтовані графи, які представляють потоки перевезення вантажів по залізниці, автомобільному та річковому транспорті. У таких графах вузлами є станції перевалки вантажів, а дуги відображають кількість перевезеного вантажу.

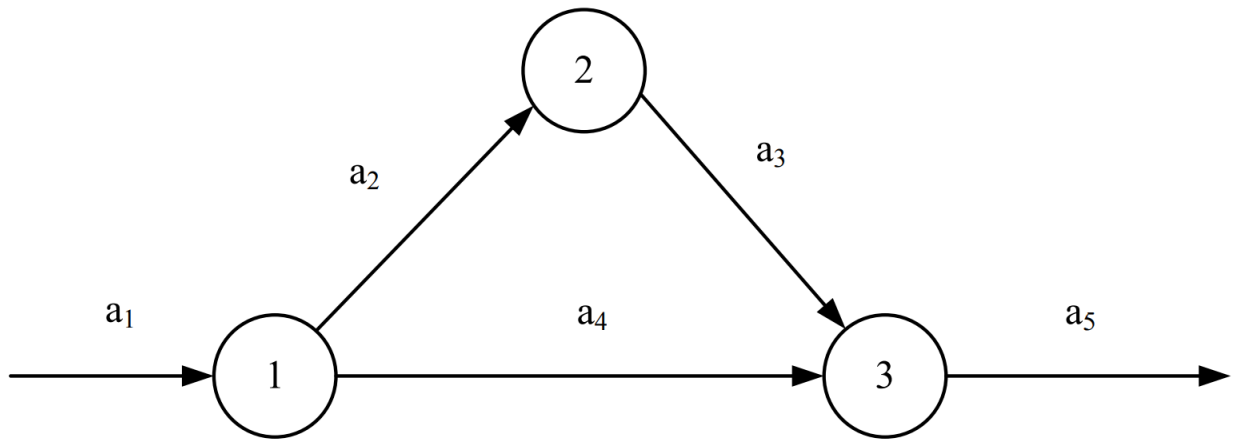


Рисунок 3.1 - Потоковий граф обробки вантажів

1, 2, 3 – транспортні вузли; a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 - обсяги вантажу між вузлами.

Для значно більших обсягів перевезень автори рекомендують використовувати транспортну мережу, де вузлами є пункти виробництва, перевалки та споживання, а дуги представляють собою відстань між ними.

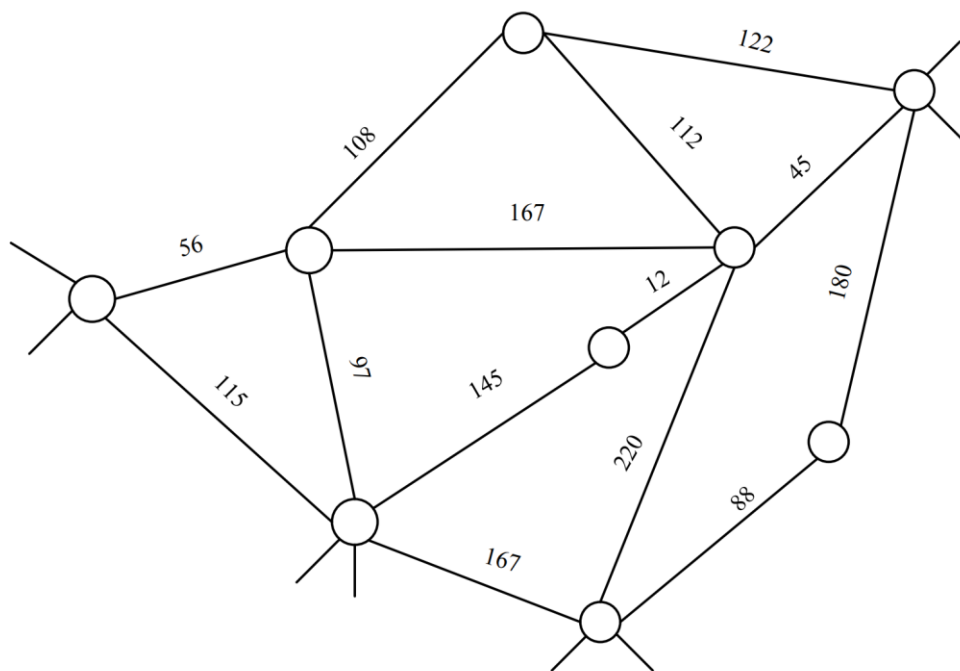


Рисунок 3.2 Приклад неорієнтованого графа

У цьому випадку використовується неорієнтований граф. Крім того, при встановленні вартості перевезень надається алгоритм для пошуку оптимального плану перевезень.

3.9 Розробка алгоритму імітаційного моделювання надійності

Імітаційне моделювання є за своєю суттю машинним експериментом з моделлю досліджуваної чи проектованої системи. План імітаційного експерименту на ЕОМ являє собою метод отримання за допомогою експерименту необхідної користувачу інформації. Ефективність використання експериментальних ресурсів істотно залежить від вибору плану експерименту. Основна мета експериментальних досліджень за допомогою імітаційних моделей полягає в найдокладнішому вивченні поведінки модельованої системи. Для цього необхідно планувати і проектувати не тільки саму модель, але й процес її використання, тобто проведення з нею експериментів на ЕОМ. Весь комплекс питань планування експериментів з імітаційними моделями для їх успішного виконання раціонально розбити на стратегічне і тактичне планування.

Розробляючи план експерименту з моделлю системи, потрібно відповісти на такі запитання:

- по-перше, дослідник і на етапі планування експерименту повинен пам'ятати, до якого класу належить модельована система (статична або динамічна, детермінована або стохастична тощо);

- по-друге, він повинен визначити, який режим роботи системи його цікавить: стаціонарний (сталій) або нестаціонарний;

- по-третє, необхідно знати, протягом якого проміжку часу необхідно спостерігати за поведінкою (функціонуванням) системи; і, нарешті, по-четверте, добре було б знати, який обсяг випробувань (тобто повторних експериментів) зможе забезпечити необхідну точність оцінок (у статистичному сенсі) досліджуваних характеристик системи.

Зрозуміло, можна діяти таким способом: не особливо замислюючись над перерахованими питаннями, узяти від моделі все "по максимуму" - досліджувати роботу системи у всіх режимах, для всіх можливих поєднань зовнішніх і внутрішніх параметрів і повторювати кожен експеримент по сотні разів. Проте користь від такого моделювання невелика, оскільки одержані дані буде дуже складно обробити і проаналізувати, а ще важче ухвалити яке небудь конкретне рішення. Та і витрати часу на моделювання, навіть з урахуванням швидкодії сучасних комп'ютерів, виявляться надмірними.

Отже, планування модельних експериментів має на меті:

- скорочення загального обсягу випробувань за дотримання вимог до достовірності та точності їх результатів;
- підвищення інформативності кожного з експериментів окремо.

Шукають план експерименту в так званому факторному просторі.

Факторний простір - це множина зовнішніх і внутрішніх параметрів моделі, значення яких дослідник може контролювати під час підготовки і проведення модельного експерименту.

Оскільки фактори можуть мати як кількісний, так і якісний характер (наприклад, відображати деяку стратегію управління), значення факторів зазвичай називають рівнями. Якщо під час проведення експерименту дослідник може змінювати рівні факторів, експеримент називається активним, інакше - пасивним.

Введемо ще декілька термінів, використовуваних у теорії планування експерименту.

Кожен з факторів має верхній і нижній рівні, розташовані симетрично щодо деякого нульового рівня. Точка у факторному просторі, що відповідає нульовим рівням усіх факторів, називається центром плану.

Інтервалом варіювання фактора називається деяке число J , додаючи яке до нульового рівня, одержимо верхній рівень, а віднімаючи - нижній.

Як правило, план експерименту будують щодо одного (основного) вихідного скалярного параметра у який називається спостережуваною змінною. Якщо моделювання використовується як інструмент прийняття рішення, то спостережуваною змінною виступає показник ефективності.

До того ж передбачається, що значення спостережуваної змінної, одержане під час експерименту, складається з двох складових

$$y = f(x) + e(x),$$

де $f(x)$ - функція відгуку (невипадкова функція факторів); $e(x)$ - помилка експерименту (випадкова величина); x - точка у факторному просторі (певне поєднання рівнів факторів).

Очевидно, що y є випадковою змінною, оскільки залежить від випадкової величини $e(x)$.

Дисперсія Dy спостережуваної змінної, яка характеризує точність вимірювань, дорівнює дисперсії помилки досліду: $Dy = De$.

Dy називають дисперсією відтворюваності експерименту. Вона характеризує якість експерименту.

Експеримент називається ідеальним при $Dy = 0$.

Відомо два основні етапи постановки завдання планування імітаційного експерименту:

зі всіх допустимих вибрати такий план, який дав би змогу набутися надійнішого значення функції відгуку $f(x)$ за фіксованої кількості дослідів,

вибрати такий допустимий план, за якого статистичну оцінку функції відгуку можна одержати із заданою точністю при мінімальному об'ємі випробувань.

Розв'язання задачі планування в першій постановці називається стратегічним плануванням експерименту, в другій – тактичним плануванням.

Імітаційна модель (ІМ) - це формалізований опис логіки функціонування системи та взаємодії її складових частин з урахуванням часових параметрів, що відображає основні зв'язки і властивості системи, і дає можливість проведення статистичних експериментів.

З даного визначення слід відзначити дві ключові моменти. По-перше, взаємозв'язки між окремими елементами системи, що описані в моделі, а також між різними параметрами можна виразити у вигляді аналітичних функцій. По-друге, модель може мати практичне значення тільки у тому випадку, якщо вона відображає лише ті властивості реальної системи, які впливають на обрані показники ефективності або вивчені характеристики.

Оскільки імітаційне моделювання базується на методі статистичних експериментів, його найбільша ефективність проявляється при вивченні складних систем, де функціонуванню системи суттєво впливають випадкові фактори.

Застосування імітаційного моделювання доцільне також у таких випадках:

- коли відсутня чітка формулювання завдання для дослідження і проводиться дослідження об'єкта моделювання;
- якщо характер процесів, що відбуваються в системі, не дозволяє описати їх аналітично.

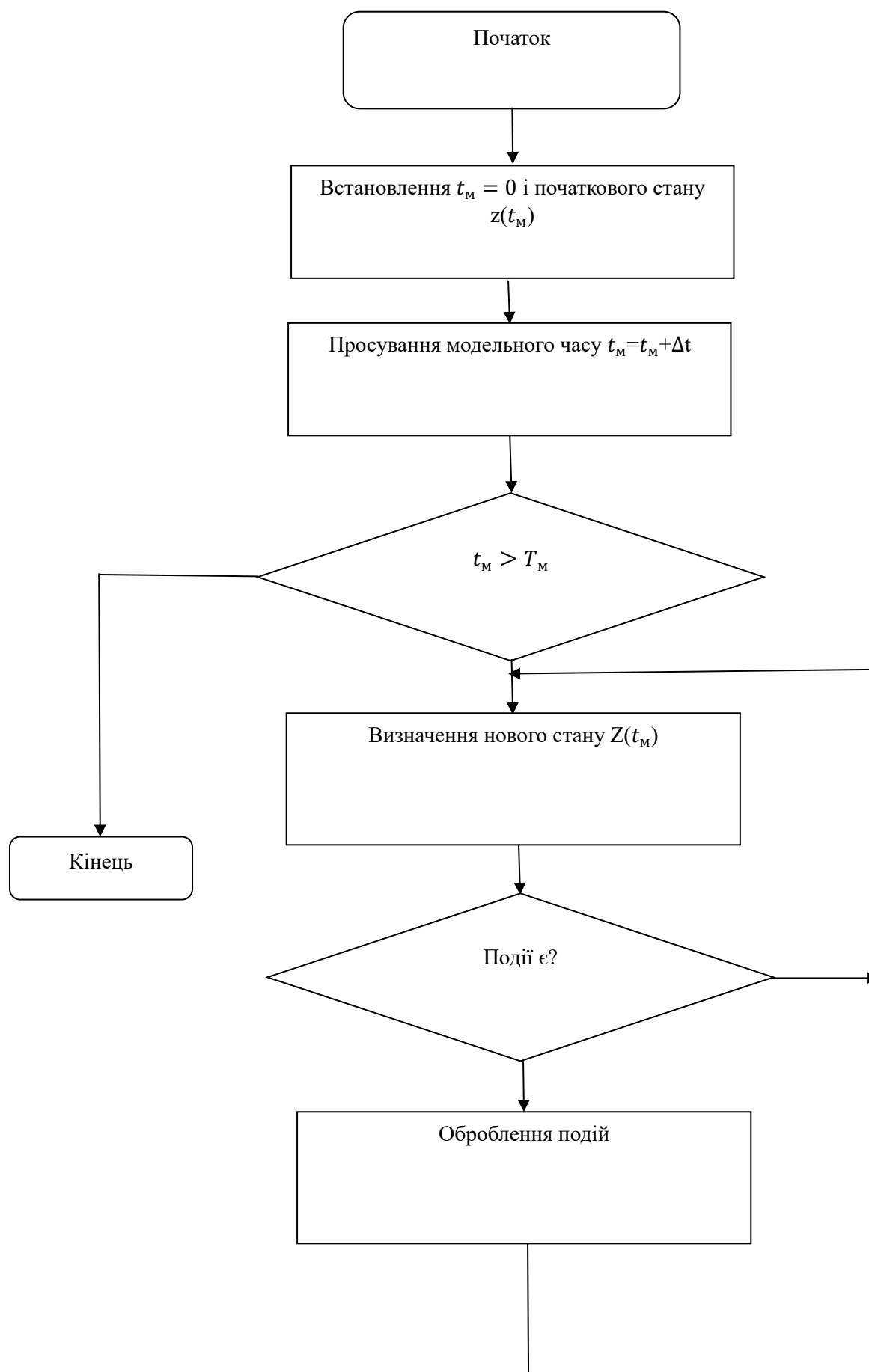


Рисунок 3.3 - Алгоритм моделювання з постійним кроком.

3.10 Розробка алгоритму аналітико-статистичного методу розрахунку надійності

Під аналітико-статистичним підходом розумітимемо винайдення різних удосконалень схеми статистичного експерименту з метою зменшення кількості дослідів N , необхідних для досягнення заданої точності розрахунків.

До того ж удосконалюють схему експерименту її формальним, тобто аналітичним перетворенням. Сам же експеримент залишається статистичним.

Одна з найвідоміших ідей - це ідея пониження дисперсії. Вона полягає ось у чому. Оскільки за заданої точності ν кількість дослідів N визначають за формулою:

$$N = \left(\frac{\nu_y}{\nu}\right)^2 = \frac{D(y)/M^2(y)}{\nu^2}$$

то N можна зменшити за рахунок зниження дисперсії $D(y)$ вихідної ВВ y' . Точніше кажучи, замість y пропонується генерувати "трошки іншу" ВВ y' з тим самим значенням шуканого математичного очікування $M(y') = M(y)$, але з меншою дисперсією $D(y') \ll D(y)$.

Здійснення цієї ідеї розглянемо на прикладі методу зважування і методу розшарування.

Система загалом також або працює, або перебуває в стані відмови. Стан системи однозначно визначається сукупністю станів елементів.

Методикою розв'язання задачі є аналітико-статистичне моделювання. Завданням є отримання залежностей коефіцієнта бітової помилки (BER) від хроматичної і поляризаційної модової дисперсії, а також від нелінійних ефектів (чотирихвильове змішування, стимульоване розсіювання Бріллюена тощо).

Найефективнішим способом досягнення поставленої мети є аналітико-статистичне моделювання через те, що деякі характеристики і параметри системи мають детермінований характер, що добре піддається аналітичному моделюванню, інші ж характеристики мають стохастичний характер, тому їхнє моделювання - статистичне.

Основне завдання моделювання оптичних транспортних систем можна розбити на декілька підзавдань. Визначати BER можна за допомогою ОКО-діаграми, що дає змогу проводити детальний аналіз цифрового сигналу по параметрах, безпосередньо пов'язаних з формою хвильового фронту: міжсимвольною інтерференцією, джиттером передавання даних і синхронізації, а також іншими характеристиками, кожен з яких моделюють окремо.

На основі вищенаведеного потрібно розробити аналітико-статистичну модель оптичної транспортної системи, яка б дала змогу оцінити параметри

якості передавання цифрового сигналу оптичним лінійним трактом, аналізуючи око-діаграму, враховуючи вплив загасання, хроматичної і поляризаційно-модової дисперсії, нелінійних ефектів, таких, як чотирихвильове змішування, стимульоване розсіювання Брілюена, а також вплив джиттера синхронізації та передавання даних.

3.11 Методика комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання мереж зв'язку

Ефективність функціонування телекомунікаційних систем, які належать до класу складних технічних систем, залежить від надійності її підсистем та елементів, а також від складності зв'язків між ними. Формалізований опис цієї наукової проблеми може базуватися на загальному підході, який використовує принцип декомпозиції. Це дозволяє поетапно проводити оцінку надійності телекомунікаційної мережі на трьох взаємопов'язаних рівнях.

Перший етап передбачає оцінку на рівні окремих елементів обладнання, таких як маршрутизатори, комутатори, сервери, робочі станції та обладнання для шифрування IP. У цьому випадку можуть бути застосовані різні типи резервування, такі як структурні, навантажувальні та часові, як окремо, так і спільно. Другий етап охоплює оцінку на рівні телекомунікаційного обладнання інформаційних шляхів. Третій етап включає оцінку на рівні телекомунікаційного обладнання інформаційних напрямків.

Запропонована методика комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання комунікаційних мереж враховує різноманітні фактори. Деякі з них є агресивними та знижують надійність (наприклад, збої, що спричиняють короточасні перебої в роботі, стійкі несправності обладнання, які потребують відновлення, та недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу). Інші фактори сприяють підтримці нормального функціонування телекомунікаційного обладнання на відповідному рівні, використовуючи різні типи надмірності окремо або спільно.

3.11 Програма оцінювання надійності методів

Програма статистичного оцінювання надійності є важливим інструментом для аналізу та прогнозування надійності систем, пристроїв або процесів. Вона дозволяє інженерам та науковцям визначати ймовірність безвідмовної роботи об'єкта, а також проводити різноманітні аналізи, що стосуються його ефективності та надійності.

Блок-схема алгоритму статистичного моделювання наведена на рисунок 3.5

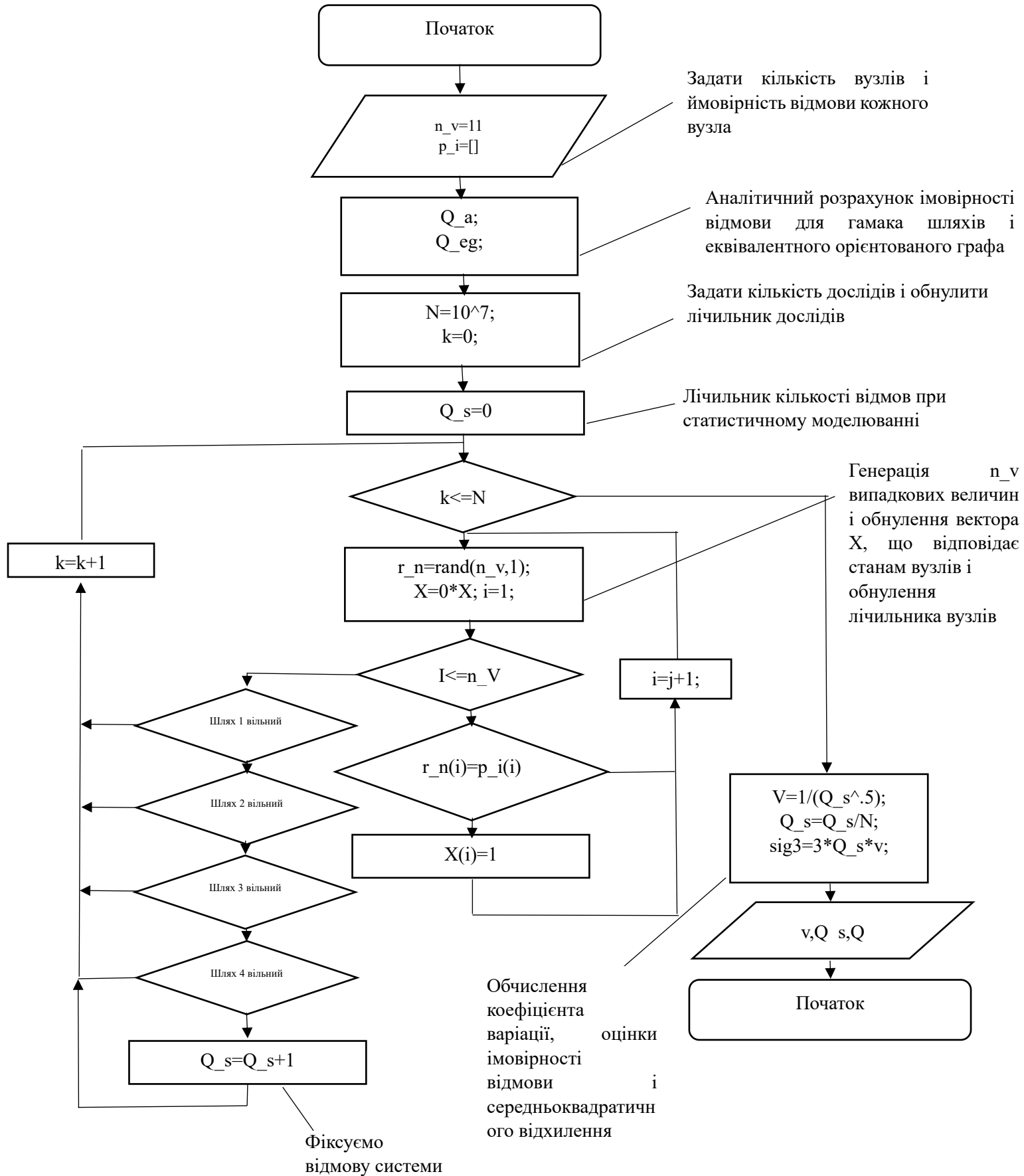


Рисунок 3.5 - Блок-схема алгоритму статистичного моделювання

В дипломному проєкті, для проведення моделювання використовували програмне забезпечення Matlab.

Matlab (скорочення від MATrix LABoratory) - це високорівнева мова програмування та інтерактивне середовище розробки, призначене для чисельних обчислень, аналізу даних, візуалізації та розробки алгоритмів. Він розроблений компанією MathWorks.

Matlab має багато переваг, які роблять його популярним інструментом для інженерів, науковців та аналітиків даних. Ось деякі з ключових переваг:

Потужні можливості обробки матриць:

- Matlab розроблений спеціально для роботи з матрицями.
- Він має широкий набір вбудованих функцій для маніпуляцій з матрицями, лінійної алгебри, обчислень тензорів тощо.
- Це робить його ідеальним інструментом для задач, що потребують великих обсягів даних та складних математичних операцій.

Велика бібліотека функцій:

Matlab має обширну бібліотеку вбудованих функцій, що охоплюють широкий спектр областей, включаючи:

- Математику
- Статистику
- Оптимізацію
- Обробку сигналів та зображень
- Керування системами
- Машинне навчання

Ці функції дозволяють вам швидко виконувати складні завдання без необхідності писати код з нуля.

Візуалізація даних:

- Matlab пропонує потужні інструменти для візуалізації даних.
- Він дозволяє вам створювати різноманітні типи графіків та діаграм, щоб досліджувати та презентувати свої дані.

Недоліки Matlab

Matlab може бути повільнішим за компіловані мови програмування, такі як C++ або Fortran, для певних задач.

Це може бути проблемою для задач, що потребують високої продуктивності.

Незважаючи на ці недоліки, Matlab залишається популярним вибором завдяки своїм перевагам, таким як простота використання, потужній бібліотеці функцій та чудовим інструментам візуалізації.

Для підвищення точності оцінювання потрібно збільшити кількість дослідів, і відповідно, час моделювання.

Зрозуміло, що у разі зменшення імовірностей відмови кожного вузла для одержання необхідної точності оцінювання імовірності незв'язності входу з виходом кількість дослідів потрібно істотно збільшувати, що призведе до неможливості виконання статистичного експерименту через величезну тривалість його виконання.

Порівняння методів статистичного і аналітико-статистичного моделювання. Розглянемо блок схему алгоритму статистичного моделювання.

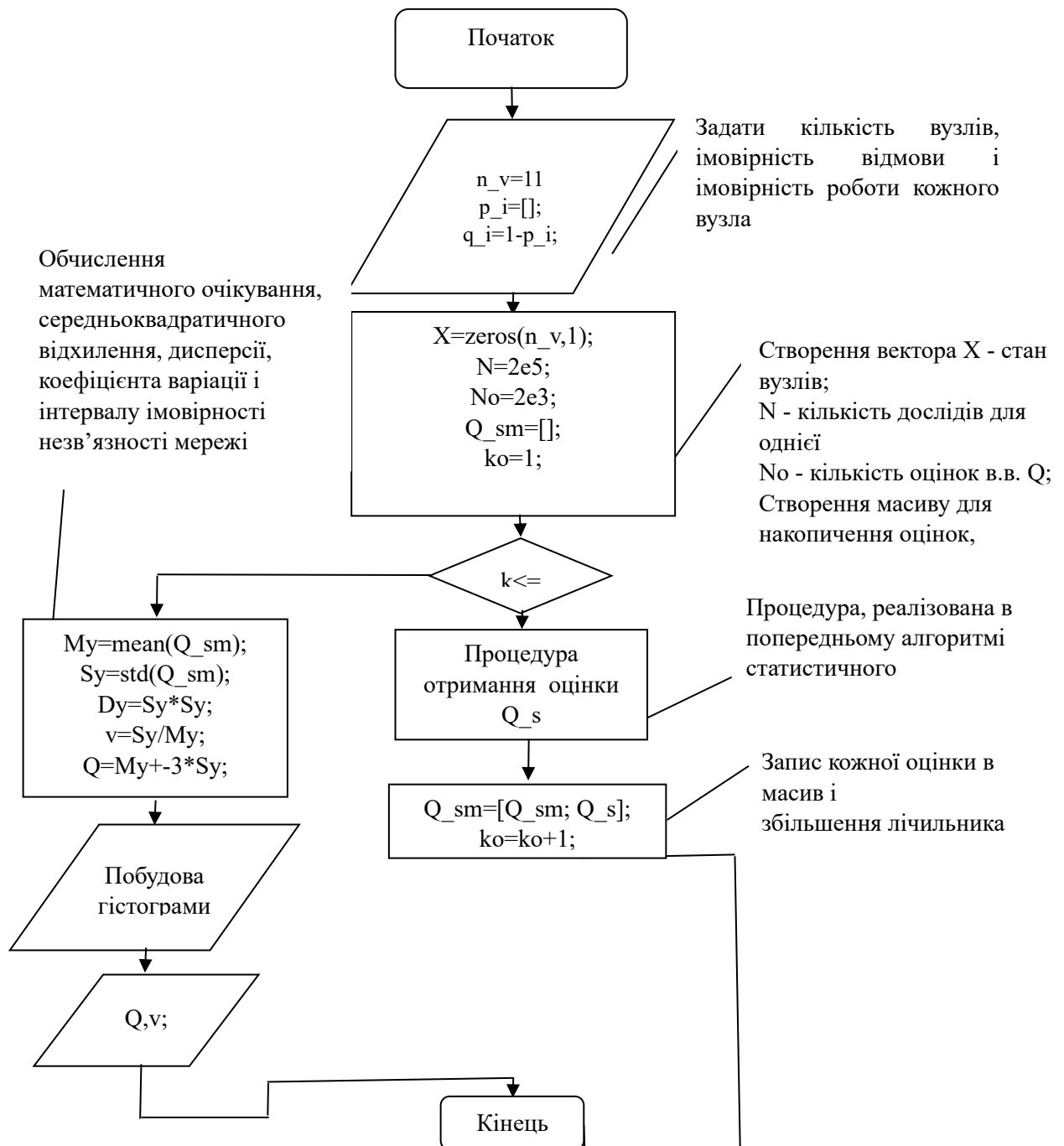


Рисунок. 3.6 - Блок-схема алгоритму статистичного моделювання розподілу імовірності невстановлення з'єднання в телекомунікаційній мережі.

Одним із методів аналітико-статистичного розрахунку надійності систем є метод зважування. Метою розділу є порівняти точність оцінювання методу зважування і точність оцінки, одержаної безпосереднім статистичним моделюванням.

Як видно із блок-схеми - це, по суті, виконання попереднього алгоритму No разів і одержання розподілу оцінки імовірності невстановлення з'єднання між вузлами і та j.

Розглянемо реалізацію алгоритму аналітико статистичного моделювання на наступному малюнку.

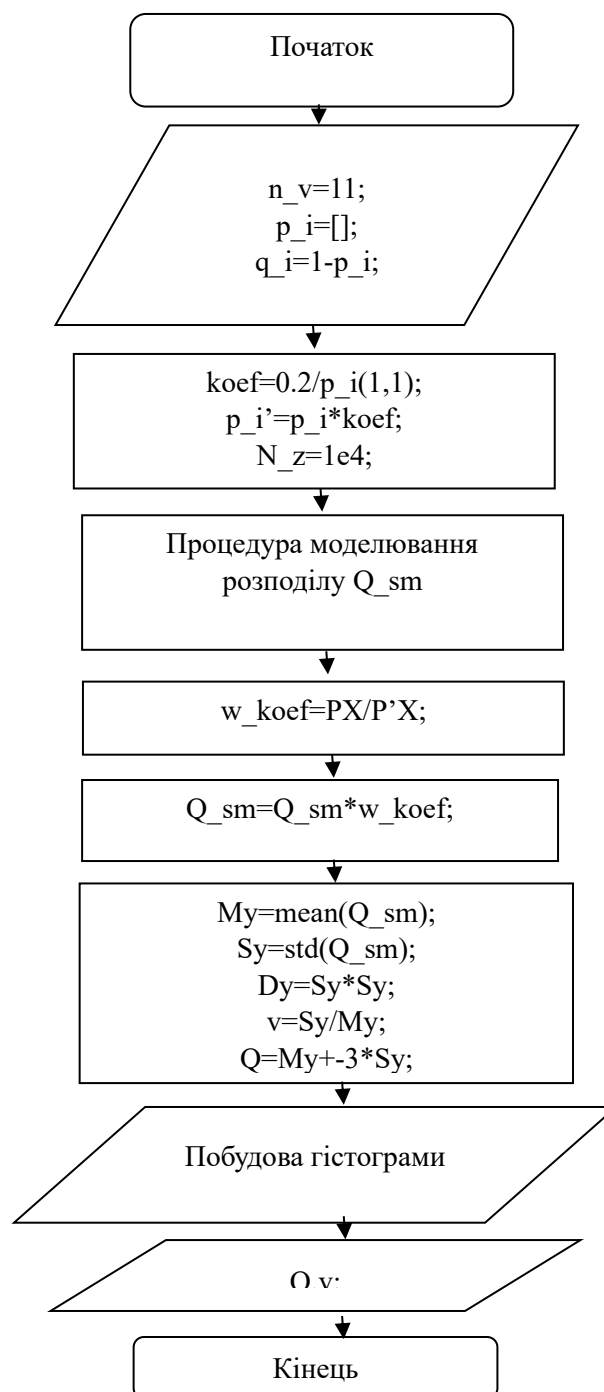


Рисунок 3.7 - Блок-схема реалізації аналітико-статистичного методу розрахунку надійності

Наступний крок - реалізація алгоритму методу зважування, який використовується для зменшення кількості випробувань, і, відповідно, економії часу моделювання і машинних ресурсів.

Програмна реалізація кожного з цих алгоритмів наведена в лістингу додатка з відповідними коментарями. Розглянемо її

```
% "Моделювання надійності з"єднання"
clear all; %очистити робочий простір
tic;% час початку обчислень

% Вихідні дані

n_v=11; %кількість вузлів мережі
p_i=ones(n_v,1); % масив імовірності відмови кожного вузла
P_i=p_i*5e-3; % вважаємо, що всі імовірності відмови однакові

q_i=1-p_i; % масив імовірності роботи кожного вузла

% Аналітичний метод розрахунку

Q(1)=1-q_i(3,1)*q_i(6,1)*q_i(9,1); %шлях 1: вузли 3-6-9

Q(2)=1-q_i(5,1)*q_i(6,1)*q_i(9,1); %шлях 2: вузли 5-6-9
Q(3)=1-q_i(5,1)*q_i(8,1)*q_i(9,1); %шлях 3: вузли 5-8-9
Q(4)=1-q_i(5,1)*q_i(8,1)*q_i(10,1);% шлях 4: вузли 5-8-10
Q_a=prod(Q); %для паралельних шляхів
%(всі шляхи незалежні)
%добуток імовірностей відмови

Q_eg=Q(1)*Q(4); % для дійсно незалежних шляхів (без врахування ребер
%5-6 та 8-9)

% Статистичне моделювання

X=zeros(n_v,1); %масив станів вузлів

N = round(100 / Q_eg); % кількість дослідів для однієї оцінки імовірності відмови

No = 1300; % і кількість цих оцінок

sh = 10; % кількість діапазонів гістограми

Q_sm=[]; % масив для накопичення оцінок імовірностей відмови

for k = 1:No

    Q_s = 0;

    for count = 1:N % цикл статистичного моделювання
```

```

r_n = rand(n_v, 1); % генерація випадкових величин з рівномірним розподілом

X = X * 0; % обнулення вектора X

for (i = 1:n_v) % Цикл генерації стану вузлів мережі

    if(r_n(1, 1) <= p_i(i, 1)) % Якщо значення генератора менше рівне імовірності відмови

        X(i, 1) = 1; % тоді даний вузол відмовив !

    end

end

if (X(3, 1) + X(6, 1) + X(9, 1) == 0) % Перевірка шляхів 1-4

    continue;

end

if (X(5, 1) + X(6, 1) + X(9, 1) == 0) % якщо хоча б один шлях не вийшов з ладу

    continue;

end

if (X(5, 1) + X(8, 1) + X(9, 1) == 0) % це система працює

    continue;

end

if (X(5, 1) + X(8, 1) + X(10, 1) == 0)

    continue;

end

Q_s = Q_s + 1; % інакше реєструємо відмову

end

Q_sm = [Q_sm; Q_s/N]; % запис чергової оцінки відмови в масив накопичення

end

% Обчислення статистичних параметрів (о оцінок 2) статистичне моделювання**

My_s = mean(Q_sm); % в математичне очікування

Sy_s = std(Q_sm); % середньоквадратичне відхилення

```

```

Dy_s = Sy_s * Sy_s; % дисперсія

v_s = Sy_s / My_s; % коефіцієнт варіації (точність оцінки)

sig3_s = Sy_s * 3; % Імовірність незв'язності вузлів i та j

[Ry_s, ix_s]=hist(Q_sm, sh);

Q_s = Q_s / N; % Імовірність відмови, де Q - кількість відмов, а N - загальна кількість спостережень.
v = 1 / (Q_s * N)^0.5; % Коефіцієнт варіації, що характеризує точність оцінки імовірності відмови.
sig_3 = 3 * Q_s * v; % Всередньоквадратичне відхилення 3 для правила трьох сигм.
% Метод зважування

ts=toc;
tic;

koef = 0.5 / p_i(1,1); % Підбираємо ваговий коефіцієнт так, щоб імовірність відмови вузла була 0.5.
p_i_strix = koef * p_i; % Знаходимо нову імовірність відмови кожного вузла, перемноживши всі імовірності на ваговий коефіцієнт.
q_i_strix = 1 - p_i_strix; % Нові імовірності роботи вузлів.
Q_tmp = (1 - q_i_strix(1,1)^3)^2; % Оціночна імовірність відмови для обчислення кількості дослідів.
N_z = round(100 / Q_tmp); % Обчислення кількості дослідів для методу зважування.
Q_sz = []; % Масив для накопичення оцінок (метод зважування).
% Розрахунок вагового коефіцієнта

PX = p_i(3,1) * p_i(6,1) * p_i(9,1); % Розрахунок проведемо для вектора X, що рівний {00 100 100 100 1 00 100 100 }
q_i(3,1)=1;q_i(6,1)=1;q_i(9,1)=1;
tmp = prod(q_i); % Добуток імовірностей.
PX = PX * tmp; %Перемноження PX на tmp.
PsX = p_i_strix(3,1) * p_i_strix(6,1) * p_i_strix(9,1); % Розрахунок PsX.
tmp = prod(q_i_strix); % Добуток імовірностей.
PsX = PsX * tmp; %Перемноження PsX на tmp
w_koef = PX / PsX; %Ваговий коефіцієнт.

for k = 1:Nz
Q_z=0;
    for count = 1:N_z
        % Генерація випадкових величин з рівномірним розподілом
        r_n = rand(n_v,1);

        % Вобнулення вектора X
        X = X * 0;

        % Цикл генерації стану вузлів мережі
        for (i = 1:n_v)
            if (r_n(i,1) <= p_i_strix(i,1))

X(i,1)=1; % тоді даний вузол відмовив !

end

```

```

end

if (X(3,1)+X(6,1)+X(9,1) == 0) % Перевірка шляхів 1-4

continue;

end

if (X(5,1)+X(6,1)+X(9,1) == 0) %якщо хоча б один шлях не вийшов з ладу
continue;

end

if (X(5,1)+X(8,1)+X(9,1) == 0) %то система працює

continue;

end

if (X(5,1)+X(8,1)+X(10,1) == 0)

continue;

end

Q_z = Q_z + 1; % інакше реєструємо відмову

end

Q_sz=[Q_sz; Q_z*w_koef]; % Імовірність відмови шляхом статистичного моделювання

end

Q_sz=Q_sz/N_z;

%%Обчислення статистичних параметрів (No оцінок Q)

My_z = mean(Q_sz); % Математичне очікування

Sy_z = std(Q_sz); % Стандартне відхилення

%% Розрахунок дисперсії

Dy_z = Sy_z * Sy_z; % Дисперсія

%% Розрахунок коефіцієнта варіації

v_z = Sy_z / My_z; % Коефіцієнт варіації (оцінка точності)

%% Розрахунок довірчого інтервалу 3 сигми

sig3_z = Sy_z * 3; % Імовірність від'єднання вузла i та j

```

```

%%% Побудова гістограми та визначення інтервальних центрів

[Ry_z, ix_z] = hist(Q_sz, sh); % Гістограма та інтервальні центри (статистичне моделювання)

%%% Статистичні параметри для одноразової оцінки ваги

v = 1 / (Q_z ^ .5); % Коефіцієнт варіації, точність оцінки ймовірності відмови

sig_3 = 3 * Q_z / N_z * v; % Стандартне відхилення * 3 для правила трьох сигм

%%% Інтервал Q=Q_s +/- sig_3;

%%% Побудова гістограми

f = figure;

plot(Ry_s, 'r');

hold on;

plot(Ry_s, 'r');

plot(Ry_z, '^b');

plot(Ry_z, 'b');

xlabel('Номер інтервалу');

ylabel('Частота попадання в інтервал'); % Label for the y-axis of the plot
title('Дослідження імовірності відмови \bfQ'); % Title for the plot

%%% Форматування результатів % Formatting of the results
tz=toc;

Rez(1,1) = N; Rez(1,1) % is assigned the value of N
Rez(1,2) = N*No; Rez(1,2) % is assigned the value of the mathematical symbol for natural numbers
Rez(2,1) = N*No; Rez(2,2) = N_z*No; % Rez(2,1) and Rez(2,2) are assigned the values of N*No and
N_z*No respectively
Rez(3,1) = ts; Rez(3,2) = tz; % Rez(3,1) and Rez(3,2) are assigned the values of ts and tz respectively
Rez(4,1) = My_s; Rez(4,2) = My_z; % Rez(4,1) and Rez(4,2) are assigned the values of My_s and My_z
respectively
Rez(5,1) = Sy_s; Rez(5,2) = Sy_z; % Rez(5,1) and Rez(5,2) are assigned the values of sy~s and Sy_z
respectively
Rez(6,1) = Dy_s; Rez(6,2) = Dy_z; % Rez(6,1) and Rez(6,2) are assigned the values of Dy_s and Dy_z
respectively
Rez(7,1) = v_s; Rez(7,2) = v_z; % Rez(7,1) and Rez(7,2) are assigned the values of vs and v_z
respectively
Rez(8,1) = 3*Sy_s; Rez(8,2) = 3*Sy_z; % Rez(8,1) and Rez(8,2) are assigned the values of 3*Sy_s and
3*Sy_z respectively

%%% Кінець % End

```

Особливості використання і порівняння цих двох методів розрахунку надійності розглянемо на прикладі з конкретними числовими значеннями.

Для цього імовірності відмови вузлів виберемо доволі високими, щоб за порівняно невеликої кількості дослідів одержати адекватну оцінку імовірності відмови за допомогою статистичного моделювання.

$$P_1 = P_2 = \dots - P_{11} = P_i = 5 \times 10^{-3}$$

Кількість оцінок розподілу беремо $N_0 = 300$.

Дослідження імовірності відмови, результати аналізу показані на рисунку 3.8

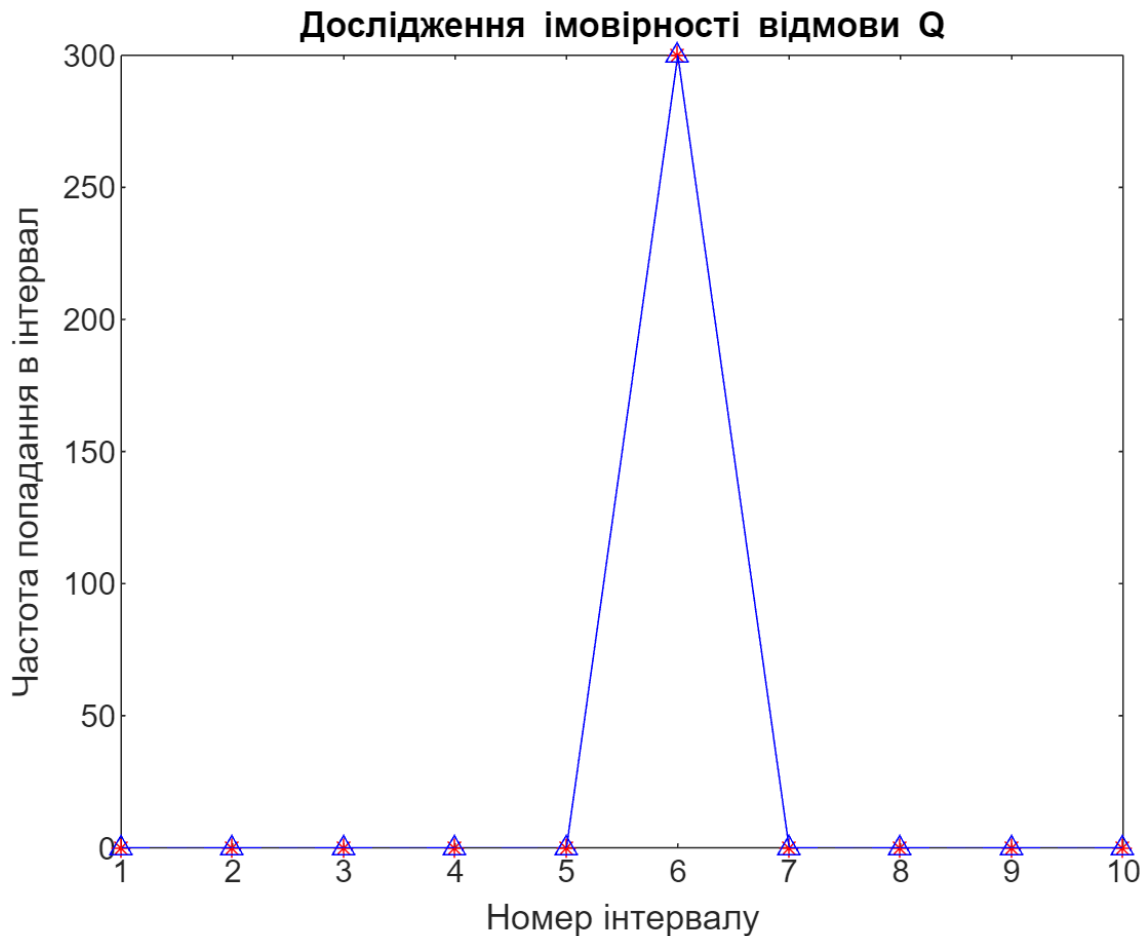


Рисунок 3.8 - Розподіл кількості попадання в інтервал для статистичного і аналітико-статистичного методів розрахунку надійності

Назва параметра	Статичний розрахунок	метод Аналітико-статистичний метод розрахунку(зважування)
Кількість дослідів за одну ітерацію	448 915	131
Сумарна кількість дослідів для всіх 300 оцінок	134 674 500	39 300
Сумарний час моделювання, с	891,272	0,671
Математичне очікування оцінки Q імовірності невстановлення з'єднання(середнє арифметичне)	0,000148	0,000168
Середньоквадратичне відхилення оцінки Q	1,85e-005	1,85e-005
Дисперсія оцінки Q	3,424e-010	1,169e-010
Коефіцієнт варіації (точність оцінки Q)	0,125	0,064
Імовірність нев'язності, враховуючи правило трьох сигм	$(14,8 \pm 5,6) \times 10^{-5}$	$(16,8 \pm 3,24) \times 10^{-5}$

3.12 Висновки до розділу

За отриманими результатами можна зробити наступні висновки:

Математичне очікування та ймовірність незв'язності для обох методів розрахунку мають подібні статистичні характеристики, що підтверджує їхню рівноцінність.

Точність оцінки ймовірності незв'язності у методі зважування виявляється у два рази вищою за рахунок значного зменшення дисперсії.

Сумарний час статистичного моделювання перевищує час аналітико-статистичного моделювання на три порядки.

Точність оцінювання ймовірності відмови системи значно залежить від вибору вагового коефіцієнта.

Метод аналітико-статистичного моделювання рекомендується використовувати для розрахунків імовірності відмови надійних систем, де застосування аналітичних чи статистичних методів неможливе через їхню складність або великі затрати машинних ресурсів і часу моделювання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час розробки програми оцінювання надійності телекомунікаційних мереж на працівника, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [1]: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму; підвищений рівень статичної електрики; підвищена напруженість електричного поля; недостатня освітленість повітря робочої зони; фізичні перевантаження (статичні); нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо покращення умов праці на робочому місці.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

На робочому місці розробника виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи.

Проектування робочих місць, забезпечених ПК, відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця проектувальника повинні бути дотримані наступні основні умови: оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця і достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення [2].

Головними елементами робочого місця проектувальника є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення працівника. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів

праці і документації. Те, що потрібне для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Висота робочої поверхні столу для користувачів повинна регулюватися в межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для ПК, на підставі яких повинні розраховуватися конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм при нерегульованій висоті, що дорівнює 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною – не менше 500 мм, глибиною на рівні колін - не менше 450 мм і на рівні простягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також - відстані спинки до переднього краю сидіння. Робоче місце необхідно обладнати підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній регульованій по висоті робочої поверхні, відокремленої від основної стільниці.

Електричний струм – являє собою прихований тип небезпеки, бо його важко визначити в токо- та неструмоведучих частинах устаткування, які є хорошими провідниками електрики. Смертельно небезпечним для життя людини вважають струм, величина якого перевищує 0,05 А, струм менше 0,05 А - безпечний (до 1000 В). З метою попередження уражень електричним струмом до роботи повинні допускатися тільки особи, що добре вивчили основні правила з безпеки виконання роботи.

Приміщення, де експлуатуються ПК, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні бути не менші за площу перерізу фазового провідника.

Відповідно до правил електробезпеки в службовому приміщенні повинен здійснюватись постійний контроль стану електропроводки, запобіжних щитів, шнурів, за допомогою яких включаються в електромережу комп'ютери, освітлювальні прилади, інші електроприлади. Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ПК, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок - струмоведачі провідники, корпуси стійок ПК і іншого устаткування, яка під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок ВЦ, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

Оскільки в приміщенні використовується понад п'ять ПК, тому на помітному місці встановлено аварійний резервний вимикач, який в разі небезпеки повністю знеструмлює електричну мережу (крім освітлення). В такому випадку при використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволено прокладати їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів, що ми і спостерігаємо у приміщенні.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час розробки програми оцінювання надійності телекомунікаційних мереж - 1а [5] (табл.4.2.1).

Таблиця 4.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях метеорологічних умов, які задовольняють нормативні вимоги використовують систему вентиляції. Приміщення обладнано системою загально обмінної припливно-витяжної вентиляції. На кожну вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки.

Крім того, для підтримання температури в холодний період року використовують загальну систему опалення.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.2.

Таблиця 4.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	0,085	0,085	2
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл.4.2.3).

Таблиця 4.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення на робочому місці проектувальника є бічне одностороннє.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої точності) зазначені у таблиці 4.2.4:

Таблиця 4.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для максимального використання природного освітлення в приміщенні слід систематично очищувати вікна від пилу та встановити жалюзі. Віконні прорізи не затемнюються іншими будівлями.

Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення

4.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочих місцях визначаються за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [6] (табл.4.2.5).

Таблиця 4.2.5 Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, еквівалентні і рівні звуку, дБА/дБАек в.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творча діяльність, обробка даних,	86	71	61	54	49	45	42	40	38	60

Рівень шуму на робочих місцях не має перевищувати 60 дБА, що досягається застосуванням малошумного обладнання, використанням спеціальних матеріалів для обшивки приміщень, а також різноманітними звукопоглинальними пристроями (перегородки, кожухи, прокладки тощо).

4.2.5. Виробничі випромінювання

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих [7] (табл.5.2.6).

Таблиця 4.2.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень [4].

Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відео термінала при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати ОД бер/год (100 мкР/год).

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати при екранні фільтри, локальні світлофільтри (засоби індивідуального захисту очей) та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат (згідно Директиви № 90/270/ЕЄС [8]).

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України [9] та «Правила пожежної безпеки в Україні» [10].

За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з нормами технологічного проектування «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [11]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу.

Згідно даних наведених у таблиці 3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості [12] приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (табл.4.3.1).

Таблиця 4.3.1. – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				колони	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні несучі	внутрішні несучі (перегородки)				плити, настили, прогони балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.)

4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

– щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;

- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозаймисті рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів

пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Для виготовлення будівельних конструкцій використовуються, як правило, цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. Застосування дерева повинна бути обмежено, а в разі використання необхідно просочувати його вогнезахисними складами.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. д. Застосування води в машинних залах ПК, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ПК необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами якого є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської дипломної роботи було розроблено програму для оцінювання надійності телекомунікаційних мереж. Основною метою цього дослідження було порівняння двох методів моделювання: статистичного та аналітико-статистичного.

Аналіз отриманих результатів показав, що обидва методи мають свої унікальні переваги та обмеження. Статистичне моделювання більш точно відображає реальні умови експлуатації мережі та дозволяє оцінити надійність системи в умовах невизначеності. Цей метод підходить для ситуацій, де важливе врахування випадкових факторів та емпіричних даних. Проте, він може вимагати значних обчислювальних ресурсів та часу для отримання результатів.

З іншого боку, аналітико-статистичне моделювання дозволяє швидше отримати результати та врахувати різноманітні вхідні параметри системи. Цей метод є ефективним для попередніх оцінок та сценарного аналізу, проте він може не враховувати всі можливі варіації реальних умов експлуатації.

На основі порівняльного аналізу було встановлено, що точність оцінювання надійності мережі значною мірою залежить від специфіки конкретної задачі та обраного методу моделювання. Таким чином, для вирішення практичних завдань рекомендується використовувати комплексний підхід, поєднуючи переваги обох методів залежно від конкретних умов і вимог проекту. Це дозволить забезпечити більш точні та надійні результати, що сприятиме підвищенню ефективності проектування та експлуатації телекомунікаційних мереж.

Отже, розроблена програма для оцінювання надійності телекомунікаційних мереж є важливим інструментом для проектування та ефективного впровадження мережних систем, з урахуванням їхньої надійності та стійкості. Вона надає можливість інженерам та адміністраторам мереж оперативно та точно аналізувати стан мережі, виявляти проблемні місця та розробляти стратегії для їх усунення, що в кінцевому підсумку підвищує надійність і доступність телекомунікаційних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ
<https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/68436079-d5a0-4f44-b923-8a608f4c7749/content>
2. Радіотехнічні системи (Основи проектування. Частина 1) : навч. посіб. / В. М. Кичак, А. Ю. Воловик, М. А. Шутило, О. П. Червак – Вінниця : ВНТУ, 2018
3. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. Навчальний посібник
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/35d4a2d2-53ed-453f-9bcd-fa883a982f53/content>
4. АЛГОРИТМИ БАГАТОФАКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ / ALGORITHMS OF MULTIFACTOR OPTIMIZATION OF TELECOMUNICATION NETWORK
http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/43880/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%9A%D0%86%D0%BC-22.pdf
5. Аналіз та моніторинг телекомунікаційної мережі на основі інтелектуальних технологій <https://ceur-ws.org/Vol-1813/paper5.pdf>
6. Clarke F. Functional analysis, Calculus of Variations and Optimal Control [Text] / F. Clarke. – New York: Springer, 2013. – 606 p.
<https://dokumen.pub/functional-analysis-calculus-of-variations-and-optimal-control-9781447148203-1447148207.html>
7. Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis / S. Herasimov, V. Pavlii, O. Tymoshchuk, M.Yu. Yakovlev, D.Ye. Khaustov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu.A. Nastishin // Journal of Electronic Testing. – June 2019, Vol. 35, Issues 148. – P. 1-9
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10836-019-05798-9>
8. Засоби і системи зв'язку ОВС : навч. посіб. / М. В. Кобець, Е. В. Ланевський, О. В. Яковенко. Київ : НАВСУ, 2004
<https://elar.naiu.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/da57eac1-ed55-4eb6-a42f-b511ebedd6cb/content>
9. Castro J. P. The UMTS Network and Radio Access Technology: Air Interface Techniques for Future Mobile Systems. – New York: Artech House, 2001
https://omidi.iut.ac.ir/SDR/2008/Azimi_Mobile_Comm/References/booktext.pdf
10. Захист інформації в телекомунікаційних системах: Навчальний посібник.(лист МОНУ №1.4/18 – Г – 183 від 02.06.2009р.). –К.: НАУ,2009. – 380с.
11. ОЦІНКА СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НЕВИЗНАЧЕНОЇ ТОПОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ https://visn-it.uu.edu.ua/files/visnyk_2019_2_print_194-210.pdf
12. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008,

IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с

13. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

14. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

15. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

16. В. В. Деркач, А. С. Дем'яненко "Системи цифрового зв'язку"

17. І. І. Ляшенко, О. В. Пастухова "Теорія і методи забезпечення надійності телекомунікаційних систем"

18. В. М. Кушнір, С. О. Щербак "Телекомунікаційні мережі та системи"

19. М. О. Василенко, О. С. Довбня "Інформаційно-комунікаційні системи"

20. О. І. Бобровський, М. В. Петухова "Моделювання та аналіз надійності інформаційно-комунікаційних систем"

21. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

23. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>

24. Директива № 90/270/ЕЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

25. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI

НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

26. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

27. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-200

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

**РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

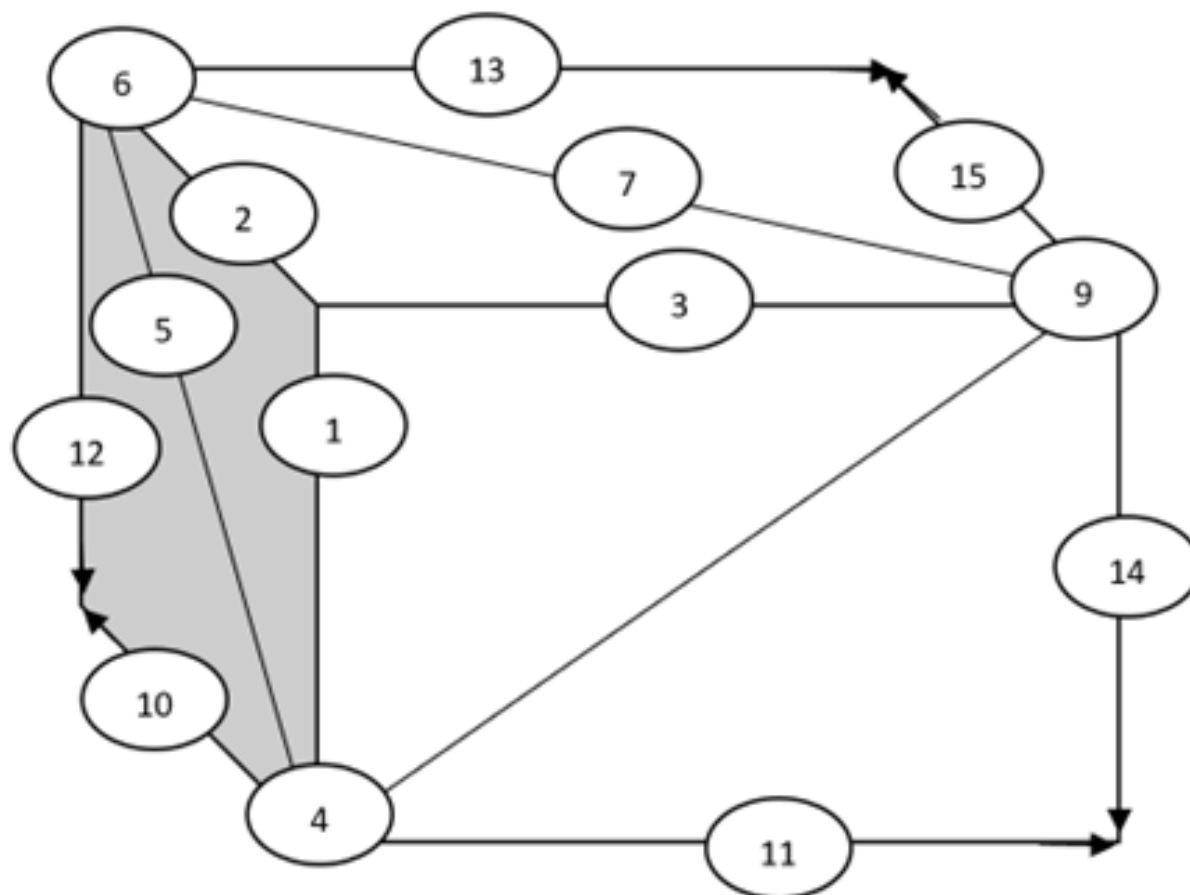


Рисунок 1 - Пример багатополусного графа

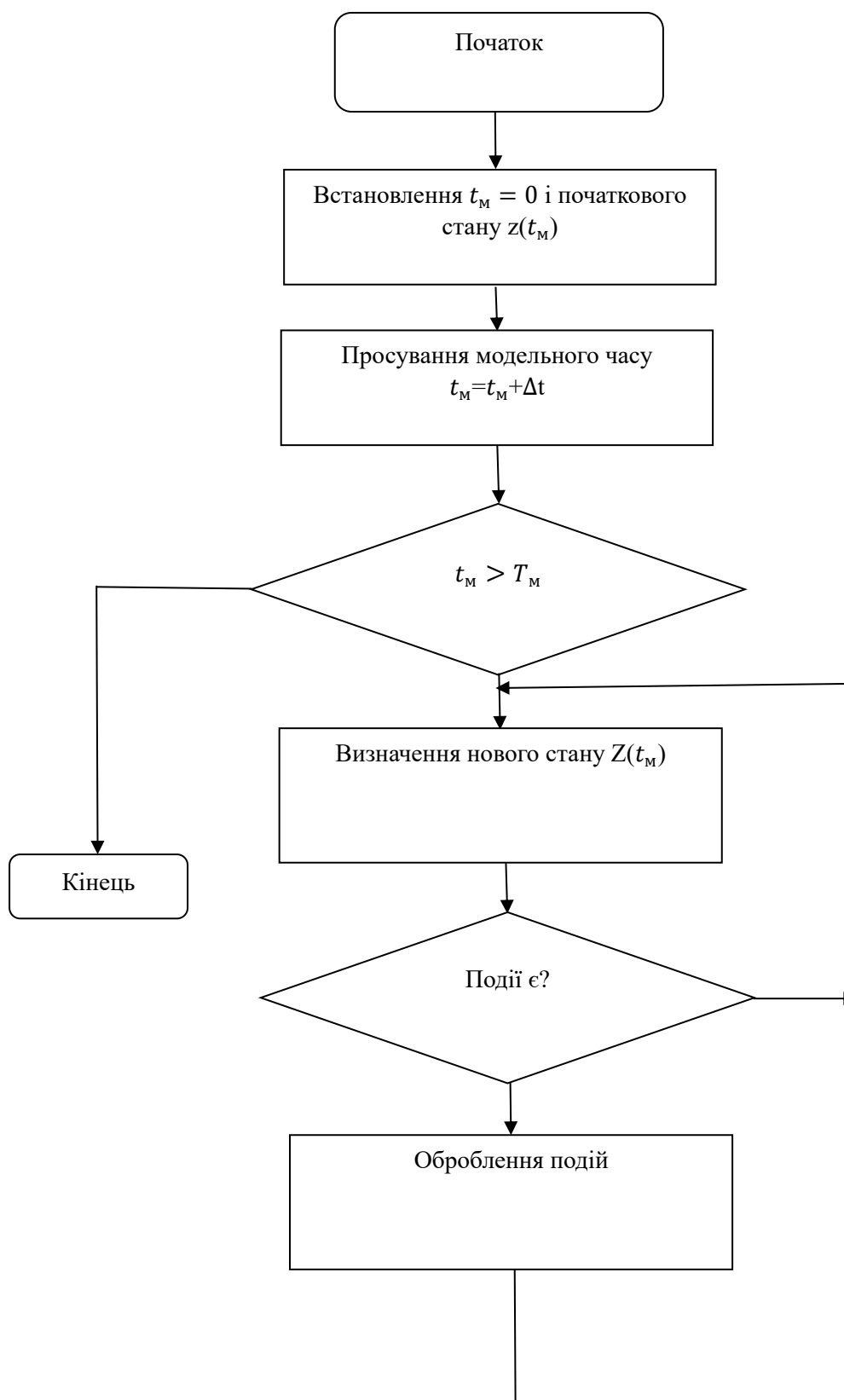


Рисунок 2 - Алгоритм моделювання з постійним кроком.

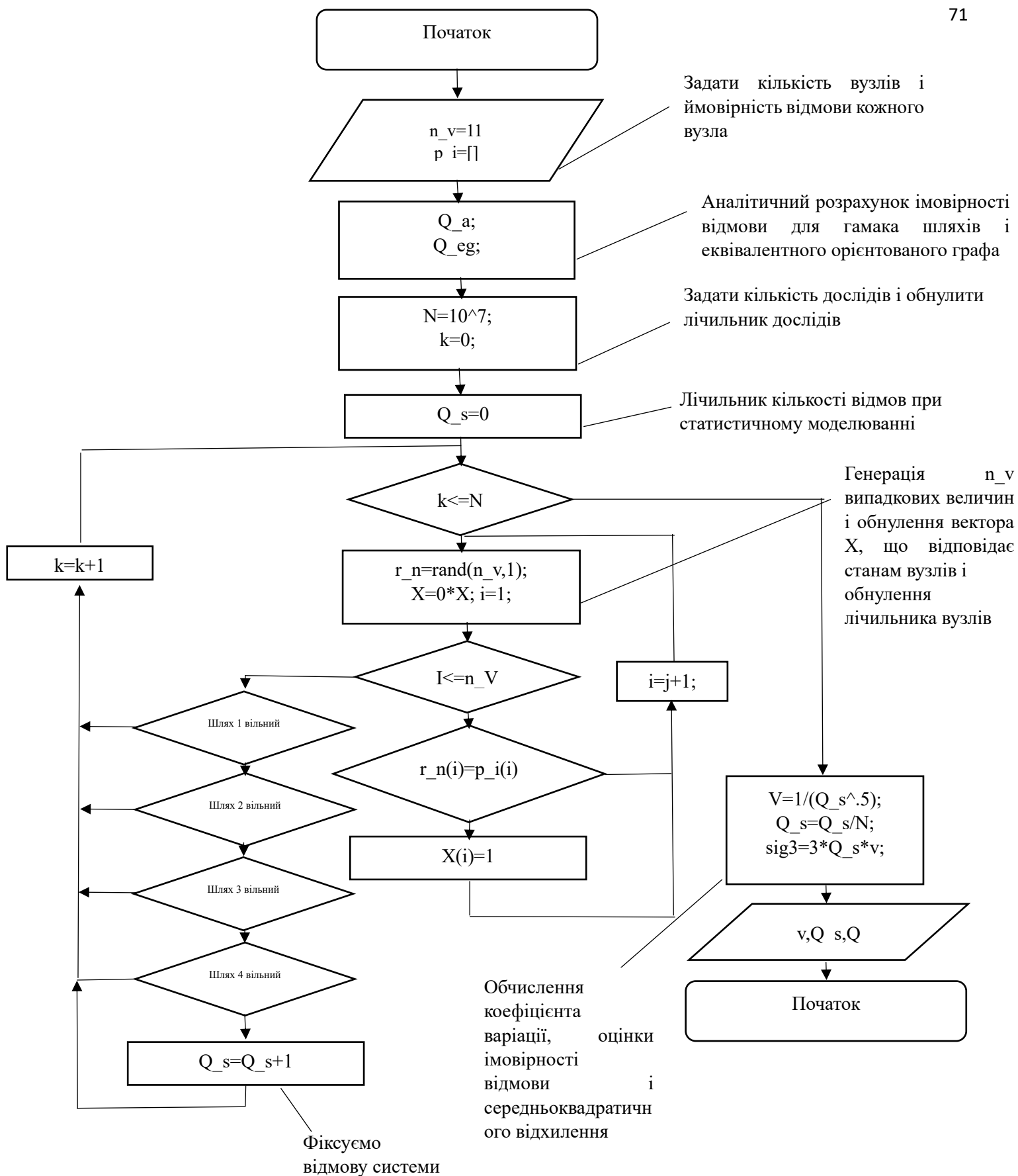


Рисунок 3 – Ілюстративна реалізація алгоритму статистичного моделювання

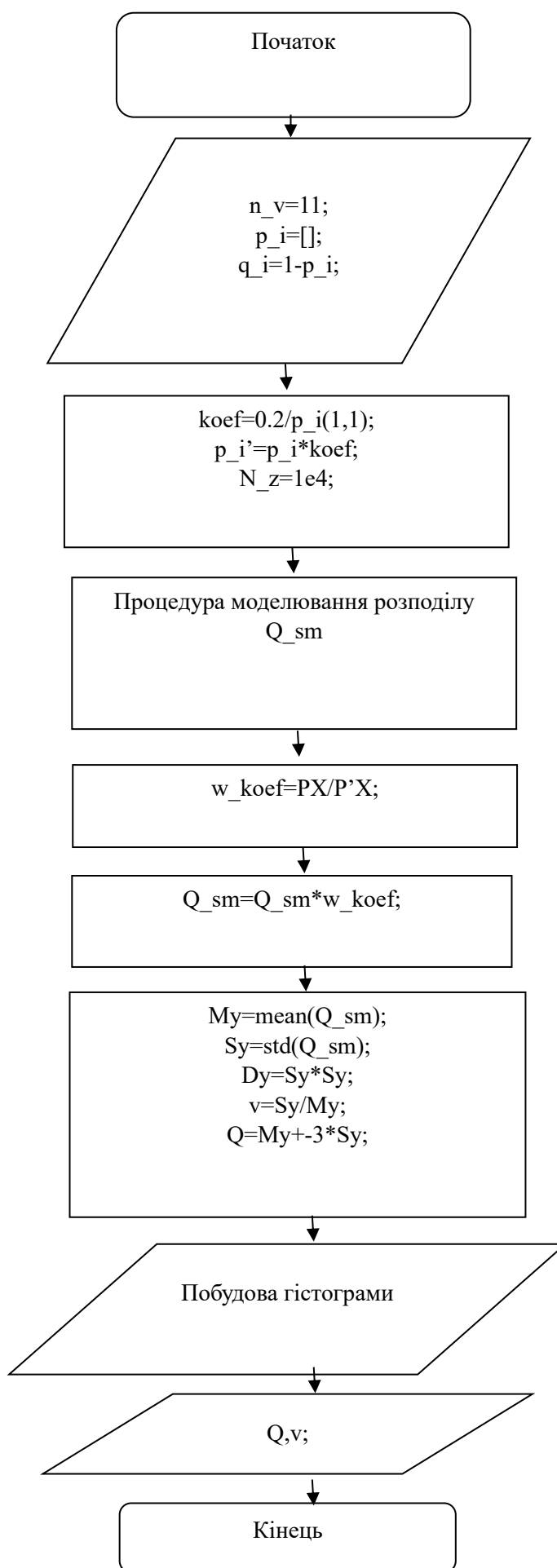


Рис 4 Блок-схема реалізації аналітико-статистичного методу розрахунку надійності

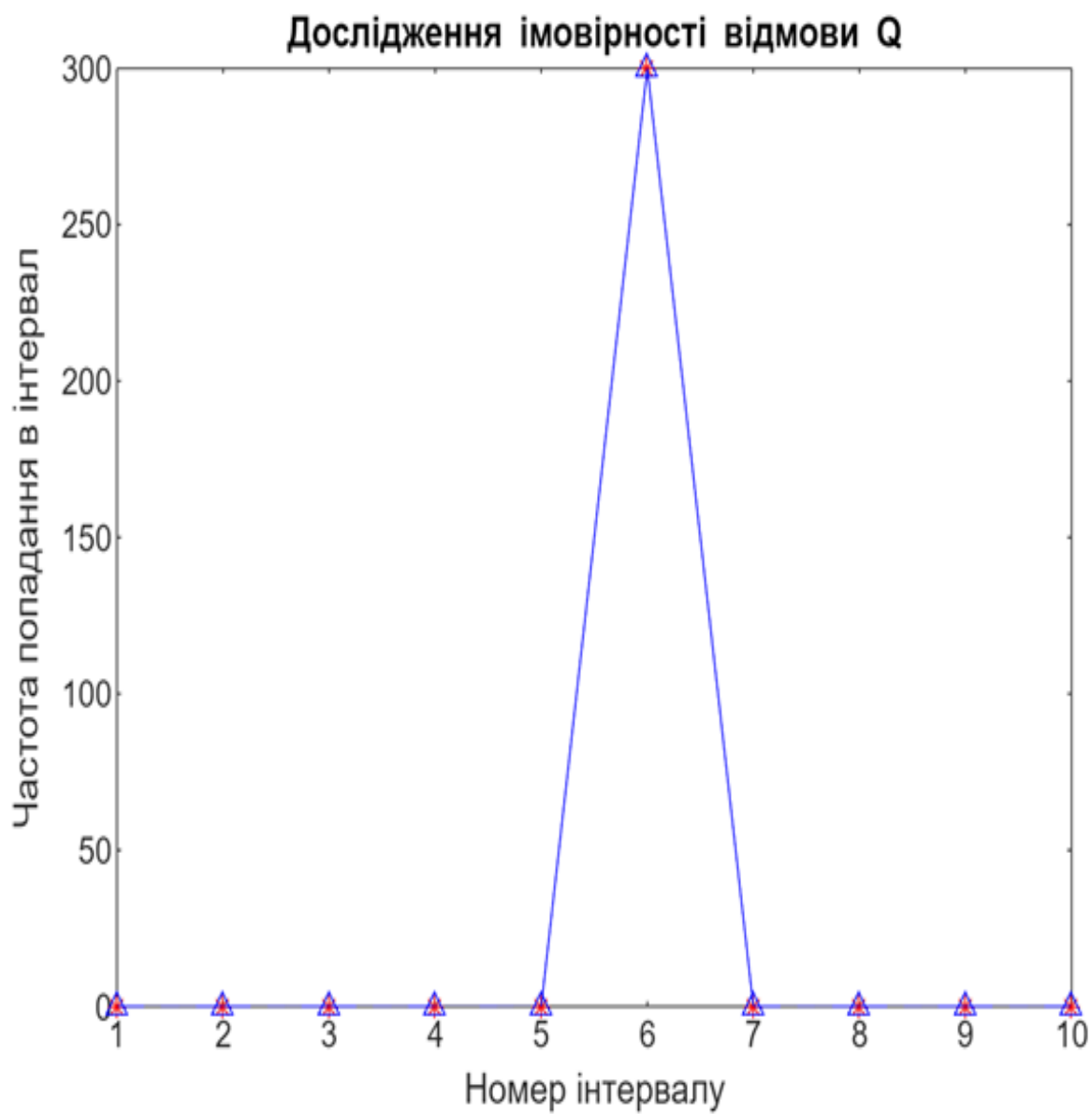


Рисунок 5 - Розподіл кількості попадання в інтервал для статистичного і аналітико-статистичного методів розрахунку надійності

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

**РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка програми оцінювання надійності телекомунікаційних мереж

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 89.3% Схожість 10.7%

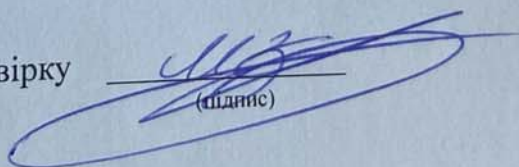
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

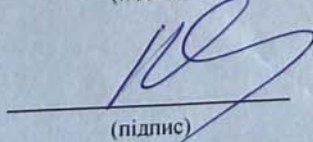
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Ковтун В.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.
(прізвище, ініціали)