

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження методів оцінки функціональної надійності
інформаційних систем
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІУСТЗМ-21-1

Вероніка Давидова

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні
науки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні управляючі
системи та технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник зав.кафедри ІУС Костянтин Петров

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Костянтин ПЕТРОВ

(власне ім'я, прізвище)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра Інформаційних управляючих систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(код і повна назва)


Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 

(підпис)

« 21 » листопада 20 22 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Давидовій Вероніці Павлівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів оцінки функціональної надійності інформаційних систем

затверджена наказом університету від 14 листопада 2022 р. № 185Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16 12 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи надійність інформаційних систем, функціональна надійність інформаційних систем, показники надійності інформаційних систем, методи розрахунків функціональної надійності

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі провести аналіз предметної області; дослідити існуючі методи та порівняти їх; розробити та описати власний підхід до розв'язання задачі оцінки функціональної надійності ІС; провести експериментальну перевірку розробленого модифікованого методу розрахунку показників функціональної надійності на основі використання фундаментальної матриці поглинаючих Марківських ланцюгів та порівняти отримані результати з існуючими методами; проаналізувати отримані результати.

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	10.10.2022	Виконано
2	Дослідження існуючих методів та порівняння	11.10.2022 - 25.20.2022	Виконано
3	Розробка та опис власного підходу	26.10.2022 - 03.11.2022	Виконано
4	Проведено експериментальну перевірку розробленого модифікованого методу розрахунку показників функціональної надійності	04.11.2022 – 14.11.2022	Виконано
5	Порівняння отриманих результатів з існуючими методами	15.11.2022 – 26.11.2022	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	27.11.2022 – 01.12.2022	Виконано
7	Оформлення графічної частини	01.12.2022 – 04.12.2022	Виконано
8	Представлення на рецензування	10.12.2022	Виконано
9	Представлення дипломного проекту ЕК	16.12.2022	Виконано

Дата видачі завдання 21 листопада 2022 р.

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____ зав. каф. ІУС, проф. Костянтин Петров

(підпис)

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз предметної області та постановка задачі дослідження.....	9
1.1 Опис предметної області.....	9
1.2 Показники функціональної надійності інформаційних систем.....	15
1.3 Постановка задачі.....	19
2 Методи розрахунку показників функціональної надійності інформаційних систем.....	20
2.1 Одиничні показники функціональної надійності ІС.....	21
2.2 Комплексні показники функціональної надійності ІС.....	25
2.3 Метод розрахунку функціональної надійності ІС з використанням апарату марківських ланцюгів	28
3 Метод розрахунку комплексної оцінки показника середнього часу до помилки ІС.....	33
4 Практичні приклади обчислення показників оцінки функціональної надійності ІС.....	36
4.1 Приклад розрахунку ймовірності функціональної відмову системи диспетчерської централізації.....	36
4.2 Приклад розрахунку показників функціональної надійності одноканальної інформаційної системи.....	39
Висновки.....	45
Перелік джерел посилання.....	47
Додаток А Графічний матеріал.....	56

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 66 с., 4 розділи., 6 рис., 1 дод., 36 джерел.

ЙМОВІРНІСТЬ ВІДМОВИ, ЙМОВІРНІСТЬ ПОМИЛКИ, КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА, КОМПЛЕКСНІ ПОКАЗНИКИ, МАРЦІВСЬКІ ЛАНЦЮГИ, ОДИНИЧНІ ПОКАЗНИКИ, ФУНКЦІОНАЛЬНА НАДІЙНІСТЬ

Об'єкт дослідження – процес оцінювання функціональної надійності інформаційних систем.

Предмет дослідження – методи оцінки показників функціональної надійності інформаційних систем.

Мета роботи – дослідження існуючих методів оцінки функціональної надійності інформаційних систем та розробка модифікованого методу розрахунку показників комплексної оцінки функціональної надійності на основі використання одиничних показників, який дозволить вирішувати це завдання більш ефективно.

Дослідження, що проведені в роботі, базуються на використанні методів системного аналізу задач оцінювання функціональної надійності інформаційних систем, теорії ймовірності та математичної статистики, апарату теорії Марківських ланцюгів.

Результати роботи можуть бути використані при вирішенні широкого кола задач щодо оцінки надійності функціонування ІС та прийняття рішення на основі отриманої комплексної оцінки про проведення необхідних операцій для покращення ІС з точки зору підвищення відмовостійкості, усунення загроз функціональній надійності, а також зменшення збоїв функціонального характеру та збійних помилок при виконанні функціональних завдань.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: An explanatory note to the qualification work: 66 p., 4 parts., 6 pics., 1 appendices, 36 sources.

COMPREHENSIVE EVALUATION, COMPLEX INDICATORS,
FUNCTIONAL PERFORMANCE, MARKIVSKI LANTSYUGI,
PERFORMANCE OF PARTY, PERFORMANCE OF VIDMOVI, SINGLE
INDICATIONS

The object of research is the process of assessing the functional reliability of information systems.

The subject of the research is methods of assessing indicators of functional reliability of information systems.

The purpose of the work is to study the existing methods of assessing the functional reliability of information systems and to develop a modified method of calculating the indicators of a comprehensive assessment of functional reliability based on the use of single indicators, which will allow solving this task more efficiently.

The research carried out in the work is based on the use of methods of system analysis of problems of assessing the functional reliability of information systems, the theory of probability and mathematical statistics, the apparatus of the theory of Markov chains.

The results of the work can be used in solving a wide range of tasks related to the assessment of the reliability of the functioning of the IS and making a decision based on the obtained comprehensive assessment to carry out the necessary operations to improve the IS from the point of view of increasing fault tolerance, eliminating threats to functional reliability, as well as reducing functional failures and malfunctioning errors when performing functional tasks.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ІС – інформаційна система;

БЗ – база знань;

ФП – функціональна підсистема;

ІУС – інформаційна управляюча система;

КТЗ – комплекс технічних засобів;

ТЗ – технічне забезпечення;

ВОЛЗ - зазвичай волоконно-оптичні лінії;

ЗАТ - залізнична автоматика та телемеханіка.

ВСТУП

Під інформаційною системою (ІС) розуміється, перш за все, автоматизована система, яка є сукупністю комплексу засобів автоматизації, організаційно-методичних і технологічних документів і фахівців, які використовують їх у процесі своєї професійної діяльності, призначена для збору, передачі, обробки, зберігання та видачі інформації споживачам і що складається з таких основних компонентів:

- програмне забезпечення (ПЗ);
- інформаційне забезпечення;
- технічні засоби (ТЗ);
- обслуговуючий персонал.

Під надійністю ІС розуміють властивість системи зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність системи виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах експлуатації.

Слід розрізняти два класи завдань забезпечення надійності ІС. До першого класу традиційно відносять завдання структурної надійності, а до другого – завдання функціональної надійності інформаційних систем.

Оцінка функціональної надійності ІС є складним процесом, який полягає в детальному аналізі її надійності з урахуванням таких визначальних факторів як збійні та програмні помилки, помилки операторів, а також помилки у вхідній інформації. По суті це комплексна оцінка надійності сукупності програмного, інформаційного та технічного забезпечення. Тому вирішення цієї задачі є дуже актуальним при створенні сучасних ІС.

В теперішній час у науковій спільноті поки що не вироблено єдиної системи поглядів на розуміння предмета, цілей і завдань функціональної надійності інформаційних систем. Причини цього мають як об'єктивний, і

суб'єктивний характер. Об'єктивні причини пов'язані з тим, що сучасні ІС мають величезні можливості та непередбачувану поведінку. Суб'єктивні причини зумовлені тим, що наукові та практичні інтереси тих чи інших дослідників обмежені рамками окремих об'єктів, що входять до складу ІС. Взагалі під функціональною надійністю розуміється по суті готовність системи до виконання передбачених завдань.

Тому актуальним є розробка об'єктивних підходів до оцінки функціональної надійності ІС та створення уніфікованої системи показників надійності.

Метою роботи є дослідження існуючих методів оцінки функціональної надійності ІС та розробка модифікованого методу розрахунку показників комплексної оцінки функціональної надійності на основі використання одиничних показників, який дозволить вирішувати це завдання більш ефективно.

Результати роботи можуть бути використані при вирішенні широкого кола задач щодо оцінки надійності функціонування ІС та прийняття рішення на основі отриманої комплексної оцінки про проведення необхідних операцій для покращення ІС з точки зору підвищення відмовостійкості, усунення загроз функціональній надійності, а також зменшення збоїв функціонального характеру та збійних помилок при виконанні функціональних завдань.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Опис предметної області

Світ навколо нас сповнений різноманітними системами інформаційними, технічними, організаційними, біологічними, соціально-економічними тощо. Розглянемо більш детально саме інформаційні системи та основні особливості при вирішенні питань, пов'язаних із забезпеченням необхідного рівня надійності ІС.

Інформаційна система (ІС) забезпечує приймання інформації, її перетворення, опрацювання, збереження і передачу результатів опрацювання споживачу: людині, машині, іншій інформаційній системі. Прикладом сучасної інформаційної системи може бути редакція газети або журналу, оснащена комп'ютерною технікою. Тобто ІС (у загальному розумінні) – це система, яка здійснює або в якій відбуваються інформаційні процеси: пошук, збирання, зберігання, передавання й опрацювання інформації. Тому в інформаційній системі можуть відбуватися одночасно один, два чи декілька процесів.

Опрацювання інформації залежить від змісту вхідної інформації, але під час самого опрацювання інформація не осмислюється, а лише перетворюється згідно з попередньо розробленими алгоритмами.

Інформаційна система (у вузькому розумінні) – це комплекс інформаційних, технічних, програмних та організаційних засобів, що необхідні для автоматизованого опрацювання інформації.

В інформаційній системі відбуваються такі процеси:

- введення інформації, отриманої з різноманітних джерел;
- опрацювання (перетворення) інформації;
- зберігання вхідної і опрацьованої інформації;

- виведення інформації, що призначена для користувача;
- відправка/отримання інформації в мережі.

Розробка інформаційної системи передбачає вирішення двох наступних завдань:

- наповнення системи даними певної предметної області;
- створення інтерфейсу користувача для опрацювання ним необхідної інформації.

Дані в інформаційної системи можуть зберігатися в неструктурованому або у структурованому вигляді.

Неструктуровані дані – це звичайні текстові документи (можливо, ілюстровані): статті, реферати, журнали, книги тощо. Системи, в яких зберігаються неструктуровані дані, не завжди видають конкретну відповідь на запити користувача, а можуть видати текст документа або перелік документів, у яких потрібно шукати відповідь.

Структурування даних передбачає завдання правил, що визначають їхню форму, тип, розмір, значення тощо.

При вирішенні питань, пов'язаних із забезпеченням необхідного рівня надійності ІС, необхідно враховувати такі особливості:

- кожна ІС є багатофункціональною системою, функції якої мають різну значимість і, відповідно, характеризуються різним рівнем вимог до надійності їх виконання;

- можливе виникнення деяких виняткових (аварійних, критичних) ситуацій, що становлять поєднання відмов або помилок функціонування системи та здатні призвести до значних порушень функціонування об'єкта, що автоматизується;

- у функціонуванні ІС беруть участь різні види її забезпечення та персонал, які можуть тією чи іншою мірою впливати на рівень її надійності;

- до складу кожної ІС входить велика кількість різномірних елементів: технічних, програмних, інформаційних, ергатичних та ін., при цьому у

виконанні однієї функції ІС зазвичай бере участь декілька різних елементів, а один і той же елемент може брати участь у виконанні декількох функцій системи.

Перелік функцій та видів їх відмов, за якими задаються вимоги до надійності, а також критерії цих відмов прописуються в технічному завданні на ІС. У виконанні функції, як правило, беруть участь технічні, програмні засоби, інформаційне забезпечення та персонал ІС, що виділяються у функціональну підсистему ІС. Тому при вирішенні питань надійності ІС кількісний опис, аналіз, оцінку та забезпечення проводять за кожною функціональною підсистемою ІС окремо.

Як зазначено раніше, інформаційні системи застосовуються для вирішення широкого спектру наукових та виробничих завдань – від традиційного збору, обробки, накопичення та зберігання інформації, від вирішення завдань штучного інтелекту до управління відповідальними об'єктами у реальному масштабі часу. Ці завдання мають велике значення в житті сучасного суспільства. Звідси високий рівень вимог, що висуваються до надійності інформаційних систем

Рівень надійності ІС залежить від таких основних факторів:

- складу та рівня надійності технічних засобів, їх взаємозв'язку у надійній структурі комплексу технічних засобів ІС;
- складу та рівня надійності використовуваного програмного забезпечення ІС;
- рівня кваліфікації персоналу, організації роботи та рівня надійності дій персоналу ІС;
- режимів, параметрів та організаційних форм технічної експлуатації технічних засобів;
- ступеня використання різних видів резервування (структурного, інформаційного, тимчасового, алгоритмічного, функціонального);
- ступеня використання методів і засобів технічної діагностики;

- реальних умов функціонування ІС.

При цьому слід розрізняти два класи задач забезпечення цієї надійності.

До першого класу можна віднести завдання структурної надійності. Це завдання традиційної теорії надійності, в якій досліджуються процеси відмов та відновлення об'єктів (елементів та структур загалом) і не розглядається вплив на інформаційні процеси збійних та програмних помилок, помилок операторів, інформаційних атак тощо. Питання надійності (безпомилковості) виконання інформаційних процесів опинилися за межами завдань, які вирішуються в рамках класичної (структурної) надійності.

Другий клас – це завдання функціональної надійності інформаційних систем.

В рамках цього класу завдань необхідно розв'язувати задачі, які повинні включати:

- визначення функціональної відмови та визначення на цій основі функціональної надійності системи;
- визначення загроз функціональної надійності інформаційних систем, включаючи інформаційні атаки;
- формалізація вимог до показників, створення системи показників функціональної надійності інформаційних систем, розробка нових та адаптація існуючих методів розрахунку цих показників;
- розробка та дослідження математичних моделей збоїв функціонального характеру та збійних помилок при виконанні функціональних завдань;
- систематизацію понять у сфері якості та надійності програмних засобів;
- розробка показників функціональної надійності програмних засобів на основі розробленої системи показників для інформаційної системи загалом;
- узагальнення практичних відомостей про помилки операторів та прогнозування їх функціональної надійності;

– завдання вимог до функціональної надійності критично важливих інформаційних систем.

Необхідність виділення класу «функціональна надійність» у загальній теорії надійності була помічена фахівцями ще на початковому етапі створення інформаційних систем. Ні з технічної, ні з математичної точки зору неможливо об'єднати відмови апаратури та помилки людини – оператора, і тим більше, відмови апаратури, помилки операторів, збійні та програмні помилки. Тут під терміном помилка розуміється: у широкому сенсі – ненавмисне відхилення від істини чи правил; у вузькому сенсі – відхилення значення вимірюваної чи теоретично обумовленої величини від її справжнього значення. Були спроби запровадити деякі критерії ціни помилки. Тобто якщо "ціна помилки" більше деякої допустимої величини, то це слід класифікувати як подію порушення працездатності та віднести цю подію до відмови системи, ввівши в схему розрахунку надійності так званий «умовний пристрій». До цього віртуального пристрою відносилися всі події прояву загроз надійності, які розцінювалися як відмови системи і які неможливо було розподілити за складовими елементами системи.

В іншому випадку, можна вважати, що внаслідок помилки оператора працездатність системи не порушується і цю подію слід віднести до дефектів і в подальших розрахунках надійності системи не враховувати.

У більшості випадків помилки операторів важко і навіть не можливо розділити тільки на дві категорії: що впливають на надійність («чорні» помилки) або не впливають на надійність («білі» помилки). Як правило, мають місце «сірі» помилки, які неможливо віднести до відмов складових елементів системи. Їх не можна ігнорувати, оскільки вони призводять до порушення деяких операцій, процедур, що може проявитися у вигляді помилки управління підпорядкованими об'єктами, у тому числі через кілька циклів управління. Однак виникнення помилки управління може бути суттєво критичніше, ніж відмова окремого пристрою системи, хоча для усунення збою або спричиненої

ним збійної помилки не потрібно ремонту техніки. В цьому випадку достатньо виправити або виключити викривлену інформацію. Зазвичай тривалість усунення збою набагато менше тривалості усунення відмови техніки. Ця обставина стала підставою для деяких авторів [1], наприклад, розділити програмні помилки на відмови та збої програмного забезпечення за критерієм допустимої тривалості існування програмної помилки. Але така пропозиція є недостатньо коректною. Це зумовлено тим, що до якості управління пред'являються часові обмеження, але також є вимоги щодо припустимої точності, пропускної спроможності, продуктивності, а також вимоги до ціни помилки. Загалом слід зазначити, що протягом півстоліття на базі методології класичної (структурної) надійності детально розроблені кількісні характеристики надійності технічних засобів, методи аналізу та синтезу надійності елементів технічних засобів, методи підвищення надійності апаратури на етапах проектування, раціональні методи технічного обслуговування та експлуатації, методи випробувань апаратури на надійність. Однак, не вдалося створити методологію та практичні основи аналізу та синтезу надійності інформаційних систем з урахуванням таких визначальних факторів як збійні та програмні помилки, помилки операторів, а також помилки у вхідній інформації.

Основна причина полягає у необхідності дослідження не тільки процесів відмов та відновлень інформаційної техніки, а й значною мірою необхідності дослідження безпомилковості виконання інформаційних технологій на передбаченій інформаційній техніці з урахуванням реалізованих у цих технологіях алгоритмів, вимог до якості управління та значущості помилок. А це і є предметом досліджень функціональної надійності ІС.

1.2 Показники функціональної надійності інформаційних систем

Поняття функціональної надійності трактується різними дослідниками неоднозначно. У нормативному документі [2] під функціональною надійністю розуміється по суті готовність системи до виконання передбачених завдань. Ця позиція сформульована наступним чином: «імовірність відмови будь-якої частини системи визначатиме, чи буде система придатна, коли та скільки необхідно, під час будь-якого експлуатаційного використання та у будь-який заданий (випадковий) час. Чинники, які впливають на функціональну надійність, включають середній час між збоями, середній час, необхідний на ремонт і час адміністративного простою» [3].

Інший, більш поширений підхід, який закріплений у стандарті [4], полягає в тому, що для багатфункціональної інформаційної управляючої системи (автоматизованої системи управління – АСУ) розраховується надійність щодо кожної функції. З цією метою встановлюється перелік функцій та видів їх відмов, а також критеріїв оцінки цих відмов. Рівень надійності системи оцінюється залежно від надійності та інших властивостей технічних засобів, програмного забезпечення та персоналу, що бере участь у функціонуванні системи. Для розрахунку надійності АСУ з її складу виділяються функціональні підсистеми (ФП), кожна з яких вирішує одну конкретну задачу та містить необхідні для цього технічні, програмні засоби та певний персонал. Аналіз надійності всієї системи проводять для кожної ФП з урахуванням надійності її складових засобів. В якості показників надійності використовують показники надійності реалізації функцій.

Так, в якості одиничного показника безвідмовності системи відносно безперервно-виконуваної функції вводиться ймовірність безвідмовної роботи її ФП протягом заданого часу, а також показники середньої роботи до відмови, напрацювання на відмову, інтенсивності відмов та параметра потоку відмов.

В якості комплексних показників надійності використовують коефіцієнти

готовності, технічного використання та збереження ефективності кожної її ФП.

Розглянемо приклад (рис.1.1). Тут у кожній функціональній підсистемі квадратами позначені об'єкти, що беруть участь у виконанні функції цієї підсистеми. Наприклад, у виконанні функції ФП1 беруть участь об'єкти 1, 3, 5, 6, 7, 12 інформаційної системи. Стрілками позначені зв'язки між об'єктами. Так, у ФП1 вхідною інформацією для об'єкта 3 є вихідні результати роботи об'єктів 1, 6, 12.

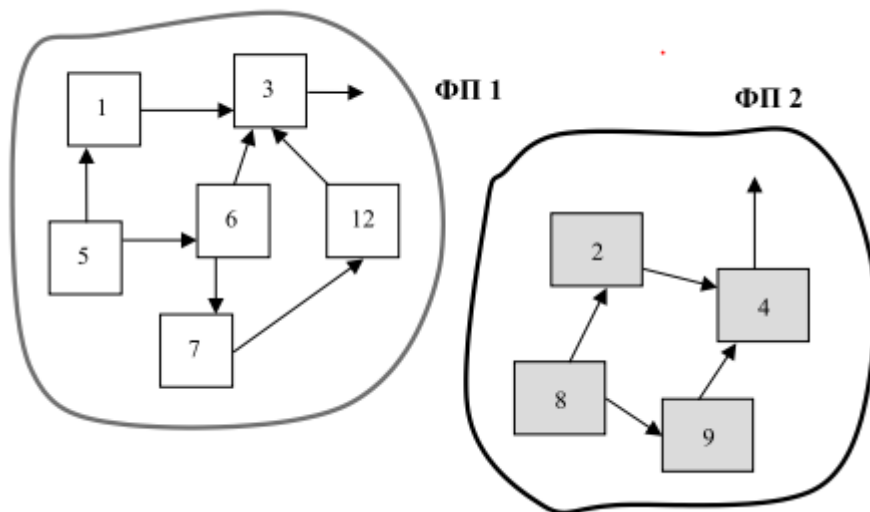


Рисунок 1.1 – Розподіл технічних засобів інформаційної системи з функціональних підсистем

Представлений підхід є спробою, з позицій структурної надійності, поєднати надійність технічних засобів та надійність виконання інформаційних процесів в АСУ. Цей підхід добре відомий, але результат такого об'єднання виходить не зовсім вдалим з декількох причин.

Розглянемо їх.

1. Поділ багатofункціональної інформаційної системи на низку функціональних підсистем (ФП) не підкріплюється обґрунтованими критеріями поділу, крім одного – кожна ФП повинна забезпечувати рішення однієї передбаченого функціонального завдання. Однак елементи ФП можуть практично одночасно брати участь у вирішенні декількох функціональних

завдань, тобто, взаємодіяти з іншими ФП. Це означає взаємне корелювання ФП, а, отже, звідси витікає і корельованість їх показників надійності. Тому реальні рівні надійності ФП можуть бути (як правило) далекі від розрахункових значень.

2. У сучасних інформаційних управляючих системах оперативність обробки інформації настільки висока, що в частки секунди за випадковими запитами можуть вирішуватись потоки завдань. Поняття безперервно виконуваної функції стає неактуальним. У переважній більшості функції виконуються за запитами. Ці запити поступають у дискретні моменти часу. Інтервали між моментами часу, зазвичай, носять випадковий характер. Таким чином, інформаційна управляюча система являє собою систему масового обслуговування запитів.

Протягом усієї історії розвитку теорії надійності було і залишилося відкритим питання про те, як розраховувати надійність системи зі структурою, що динамічно змінюється. Зараз можна стверджувати, що це завдання не можливо остаточно вирішити тільки в рамках теорії та практики структурної надійності.

Останнім часом ряд дослідників [5] виходять із того, що необхідно вивчати надійність виконання інформаційних технологій на передбаченій інформаційній техніці враховуючи такі загрози як несправності, помилки, відмови.

У роботі [6] надійність розцінюється як фундаментальна властивість інформаційної системи та визначається як загальна надійність.

Під загальною надійністю тут розуміється здатність інформаційної системи постачати обслуговування, якому можна довіряти. Обслуговування, що поставляється системою, представляє її властивості або поведінку в тому вигляді, в якому це сприймається користувачем. У свою чергу, користувач є іншою системою (фізичною або людською), яка взаємодіє з цією системою через інтерфейс обслуговування (користувача). Дерево загальної надійності має

такий вигляд (рис. 1.2).

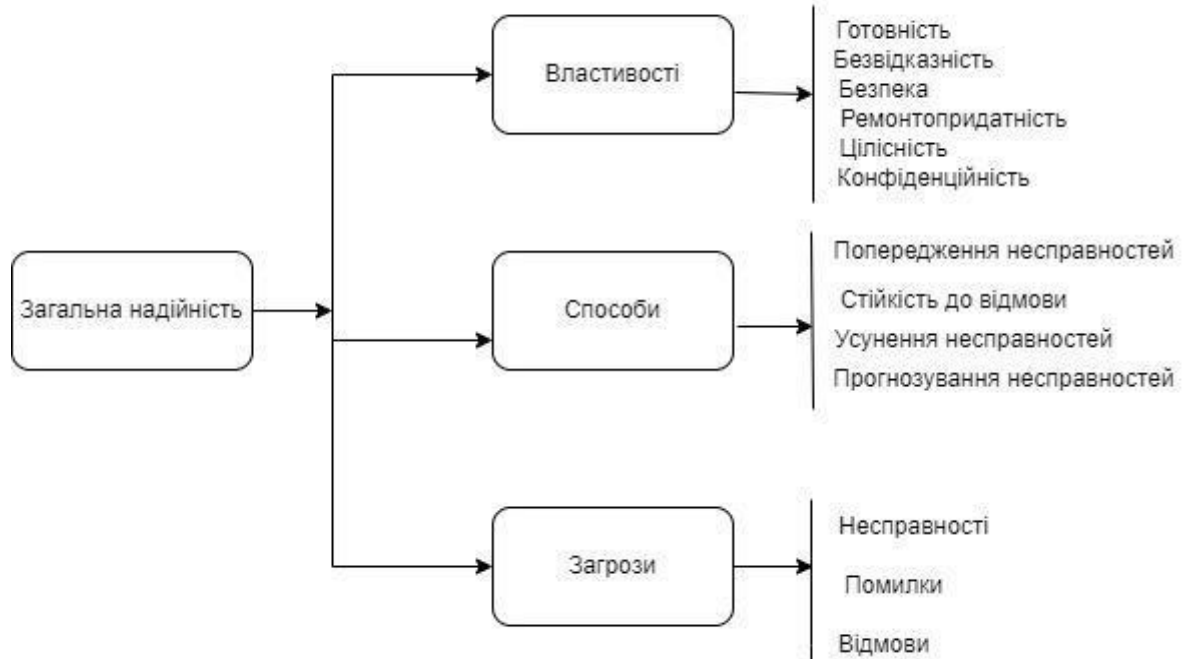


Рисунок 1.2 – Дерево «загальної надійності»

Функціональна надійність інформаційних систем визначається правильністю та безпомилковістю виконання інформаційних процесів. Термін «правильність» означає, що інформаційні процеси реалізуються відповідно до заданої сукупності правил, тобто, по суті відповідно до передбачених у системі алгоритмів виконання інформаційних процесів.

Поняття «правильність» у функціональній надійності є аналогом поняття «працездатність» у структурній надійності. Будь-яке відхилення від заданих правил призводить до порушення «правильності» функціонування інформаційної системи.

1.3 Постановка задач.

Метою роботи є дослідження існуючих методів оцінки функціональної надійності ІС та розробка модифікованого методу розрахунку показників комплексної оцінки функціональної надійності на основі використання одиничних показників, який дозволить вирішувати задачу це завдання більш ефективно.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- провести аналіз предметної області;
- дослідити існуючі методи та порівняти їх;
- розробити та описати власний підхід до розв’язання задачі оцінки функціональної надійності ІС;
- провести експериментальну перевірку розробленого модифікованого методу розрахунку комплексної оцінки функціональної надійності ІС, що базується на використанні одиничних показників та порівняти отримані результати з існуючими методами.

2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Інформаційні системи активно розвиваються. Приблизно з такою ж активністю різні дослідники пропонують нові показники надійності та ефективності функціонування цих систем. Але перш ніж компілювати існуючі показники чи пропонувати систему показників функціональної надійності ІС, слід спочатку виробити вимоги до цієї системи показників.

Система показників функціональної надійності, як і будь-яка система показників якості технічних систем, повинна відповідати низці вимог:

- кожен показник функціональної надійності має бути вимірюваним;
- показник функціональної надійності повинен допускати можливість експериментальної перевірки під час випробувань або в процесі експлуатації інформаційної системи;
- система показників має відображати дискретність випадкових процесів виникнення збійних та зовнішніх помилок, прояви помилок власних програмних засобів, а також заявок на виконання інформаційних процесів та ін.;
- система показників повинна бути зручною в практичному застосуванні, наочною та порівнянної;
- кожен показник повинен бути простим у фізичному сенсі та природним з точки зору оцінки виконуваних інформаційної системі функцій;
- показники функціональної надійності системи повинні мати єдину кількісну міру розрахунку надійності виконання процесів на всіх рівнях їх ієрархії;
- система показників має бути достатньо гнучкою, щоб забезпечувати згортання модулів розрахунку від нижчого до найвищого рівня;
- система показників повинна забезпечувати комплексну оцінку функціональної надійності інформаційної системи в умовах прояву всіх видів

загроз;

– система показників має містити як поодинокі, і комплексні показники.

Виходячи із зазначених вимог у [3] розглядаються єдиначні та комплексні показники функціональної надійності інформаційної системи. Розглянемо їх більш детально.

2.1 Одиначні показники функціональної надійності ІС

Одиначні показники – це показники функціональної надійності ІС що відносяться до кожної окремої функції.

Розглянемо основні з них.

1. Ймовірність безпомилкового виконання процесу.

$$P_i = \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{\Pi j}, i = 1, 2, \dots, n; m_i \in M, \quad (2.1)$$

де m_i – кількість рівнів ієрархії під час виконання i -го процесу;

$P_{\Pi j}$ – ймовірність безпомилкового виконання процесу j -го рівня ієрархії у складі цього процесу;

n – кількість процесів, що виконуються в ІС у поточний момент часу;

M – безліч можливих процесів, що виконуються в інформаційній системі.

2. Ймовірність помилки у виконанні процесу.

Це ймовірність того, що буде виконано з помилкою хоча б один складовий процес рівня ієрархії, тобто:

$$G_i = 1 - P_i = 1 - \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{\Pi j}, \quad (2.2)$$

У свою чергу, показники безпомилковості виконання кожного складового процесу визначаються на основі принципу відповідності структури алгоритму

розрахунку структури алгоритму функціонування досліджуваної інформаційної системи під час виконання кожної функції, а також принципу виділення в алгоритмі розрахунку ієрархічних рівнів, об'єднаних у ієрархічну структуру.

3. Ймовірність часткової функціональної відмови системи.

Визначимо критерій трансформації помилки у вихідних даних виконання завдання (процесу) у функціональну відмову системи щодо цього процесу. Така відмова відноситься до категорії часткових функціональних відмов, оскільки призводить до невиконання функції або її виконання, але з неприйнятними результатами. Відповідно до визначення функціональної відмови часткова функціональна відмова системи настає в тому випадку, коли рівень безпомилковості інформаційного процесу опускається нижче рівня, допустимого для цього процесу.

В першу чергу результатом помилки є те, що результат R_i виконання процесу не відноситься до безлічі дозволених кодових слів R , тобто $R_i \notin R$.

Для ряду інформаційних систем неприйнятність вихідного результату у виконанні інформаційного процесу пов'язана з його похибкою, коли похибка δ_i вихідних даних вище допустимої $\delta_{\text{доп}}$.

У деяких системах пріоритет надається оперативності видачі результату, тобто помилка трансформується у відмову, якщо час затримки у видачі результату ті більший за допустимий $\tau_{\text{доп}}$.

Зазначені умови трансформації помилки у часткову функціональну відмову формалізуються у вигляді ймовірності складної події

$$g_{i\text{ФТ}} = P\{(R_i \notin R) \vee (\delta_i > \delta_{\text{доп}}) \vee (\tau_i > \tau_{\text{доп}})\}, \quad (2.3)$$

Позначимо ймовірність першої події (невідповідність результату виконання процесу одному з дозволених кодових слів) як g_{i1} , ймовірність того, що похибка результату вища за допустиму як g_{i2} , а ймовірність того, що час затримки результату більший за допустиму як g_{i3} . Тоді умовна ймовірність

трансформації помилки в часткову функціональну відмову може бути описана таким виразом:

$$g_{i\Phi T} = g_{i1} \vee g_{i2} \vee g_{i3} = g_{i1} + g_{i2} + g_{i3}, \quad (2.4)$$

Якщо в інформаційній системі, подібній, наприклад, до системи диспетчерської централізації, принциповою є лише подія невідповідності отриманого результату одному з дозволених кодових слів, то в цьому випадку умовна ймовірність трансформації помилки у відмову записується так:

$$g_{i\Phi T} = g_{i1};$$

Таким чином, ймовірність часткової функціональної відмови інформаційної системи дорівнює:

$$G_{i\Phi} = (1 - P_i)g_{i\Phi T} = G_i g_{i\Phi T}, \quad (2.5)$$

Важливо розуміти, що умовна ймовірність трансформації помилки у функціональну відмову може, своєю чергою, бути функцією від цієї ймовірності помилки.

При регулярному потоці надходження заявок на виконання даного інформаційного процесу з інтервалом часу між заявками T ймовірність часткової функціональної відмови визначається за допомогою наступного виразу:

$$G_{i\Phi}(T, 2T, \dots, nT) = 1 - (1 - G_i g_{i\Phi T})^n, \text{ де } n = 1, 2, \dots, j, \dots, \quad (2.6)$$

В іншому граничному випадку, коли потік заявок випадковий і моделюється у вигляді найпростішого потоку з інтенсивністю Ω_i , ймовірність часткової функціональної відмови системи має такий вигляд:

$$G_{i\Phi}(t) = 1 - P_{i\Phi}(t) = 1 - \exp(-\Omega_i G_i g_{i\Phi T} t) \approx \Omega_i G_i g_{i\Phi T} t, \quad (2.7)$$

4. Середнє напруцювання до часткової функціональної відмови системи.

При періодичності надходження заявок T_i в регулярному потоці відповідно до формули $T_i(n) = \frac{T(1-P_i^n)}{1-P_i}$, середнє напруцювання системи до i -ї часткової функціональної відмови має такий вигляд:

$$T_{i\Phi}(n) = T_i \frac{1-(1-G_i g_{i\Phi T})}{G_i g_{i\Phi T}}, \text{ або при } n \rightarrow \infty T_{i\Phi} = \frac{T_i}{G_i g_{i\Phi T}}, \quad (2.8)$$

При найпростішому потоці заявок з інтенсивністю Ω_i

$$T_{i\Phi} = \int_0^{\infty} \exp(-\Omega_i G_i g_{i\Phi T} t) dt = \frac{1}{\Omega_i G_i g_{i\Phi T}}, \quad (2.9)$$

Оскільки інтенсивність надходження заявок Ω_i у найпростішому потоці величина постійна ($\Omega_i = \text{const}$), то середній час між заявками також постійно і дорівнює $\underline{T}_i = \frac{1}{\Omega}$.

Отже, формула може бути подана у вигляді:

$$T_{i\Phi} = \frac{1}{\Omega_i G_i g_{i\Phi T}} = \frac{\bar{T}_i}{G_i g_{i\Phi T}}, \quad (2.10)$$

Для двох граничних умов отримано практично однаковий результат визначення середнього напруцювання до часткової функціональної відмови, за винятком того, що в одному випадку має місце детермінований час між заявками, у другому – середнє значення випадкового часу. Це дає підставу скористатися даним результатом та у проміжних випадках надходження потоків заявок з обмеженою післядією.

Слід звернути увагу на те, що між середнім напруцюванням до часткової функціональної відмови та середнім напруцюванням до помилки у виконанні

інформаційного процесу [6] встановна пряма залежність: $\frac{T_{i\Phi}}{T_{i\Phi}} = \frac{1}{g_i}$, що дозволяє практично спростити обчислення одного показника по відомому іншому.

2.2 Комплексні показники функціональної надійності ІС.

Комплексні показники призначені для прогнозування та оцінки функціональної готовності системи під час виконання всіх передбачених функцій шляхом реалізації відповідних інформаційних процесів. Оскільки йдеться про реалізацію інформаційних [7] процесів, то комплексні показники є мірою безпомилковості виконання всіх цих процесів.

1. Середня ймовірність безпомилкового виконання інформаційних процесів.

Кожен інформаційний процес відрізняється частотою виконання, яка залежить від інтенсивності надходження заявок на його виконання, вагою (значимістю, вкладом в ефективність роботи системи) цього процесу, ω_i , звичайно, його функціональною надійністю. Позначимо вагу процесу як ω_i . Коефіцієнти нормування частоти виконання процесу та його значущості за умови виконання у системі M процесів визначаються як:

$$k_{i1} = \frac{\Omega_i}{\sum_{i=1}^M \Omega_i} \text{ и } k_{i2} = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i}, \quad (2.11)$$

Отже, середня ймовірність безпомилкового виконання процесу є середньозважена ймовірність, що визначається за допомогою добутку коефіцієнтів k_{i1} і k_{i2} , тобто:

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^M k_{i1} k_{2P1} = \sum_{i=1}^M k_i P_i, \quad (2.12)$$

2. Середній час простою системи під час обслуговування інформаційних процесів.

При обчисленні середнього часу простою системи щодо складових інформаційних процесів вихідними є такі основні відомості:

- середні часи простоїв $T_{ПР}$ системи щодо кожного виконуваного процесу ($i = 1, 2, 3, \dots, M$);
- ймовірності помилки у виконанні кожного процесу: чим вища ця ймовірність G_i , тим більший внесок середнього часу $T_{ПР}$ у результуюче значення часу простою системи і навпаки;
- частота виконання кожного процесу: чим частіше процес виконується, тим більший внесок його параметрів у значення результативного показника.

$$T_{ПР} = \frac{\sum_{i=1}^M G_i k_n T_{iПР}}{\sum_{i=1}^M G_i k_1}, \quad (2.13)$$

де, $k_{i1} = \frac{\Omega_i}{\sum_{i=1}^M \Omega_i}$ – нормуючий коефіцієнт частоти виконання кожного інформаційного процесу.

3. Середнє напрацювання на повну функціональну відмову системи.

За аналогією з аргументованим раніше переходом від розрахунків помилки у виконанні процесу до розрахунків часткової функціональної відмови у цьому випадку також застосуємо перехід від помилки системи в цілому до її повної функціональної відмови шляхом урахування ймовірності трансформації цієї помилки у функціональну відмову. З цією метою знаходимо середню ймовірність трансформації помилки у функціональну відмову за всіма інформаційними процесами, що виконуються в системі.

$$\bar{g}_{\Phi T} = \frac{\sum_{i=1}^M g_{i\Phi T}}{M}, \quad (2.14)$$

Раніше при аналізі часових показників системи щодо часткових функціональних відмов було встановлене співвідношення $\frac{T_{i\Phi}}{T_{i\Phi}} = \frac{1}{g_i}$.

За допомогою формули $K_{\Phi T} = \frac{T_c}{T_c + T_{\text{ПР}}}$. Звідси $T_c = \frac{T_{\text{ПР}} K_{\Phi T}}{1 - K_{\Phi T}}$. та вказаного співвідношення знаходимо формульне вираження середнього напрацювання між повними функціональними відмовами системи:

$$T_{\Phi} = \frac{T_{\text{ПР}} K_{\Phi T}}{(1 - K_{\Phi T}) \bar{g}_{\Phi T}}, \quad (2.15)$$

3. Коефіцієнт оперативної функціональної готовності системи.

Даний показник визначає ймовірність того, що у довільний досить віддалений від початку відліку момент часу [8] інформаційна система працює з прийнятним рівнем безпомилковості та забезпечує безвідмовне виконання всіх передбачених інформаційних процесів протягом заданого оперативного часу $\tau_{\text{опуправління}}$.

Тож знаходимо:

$$K_{\text{офг}}(\tau_{\text{оп}}) = k_{\text{офг}} \exp(-\tau_{\text{оп}} / T_{\Phi}), \quad (2.16)$$

Формула (2.16) справедлива за умови найпростішого потоку функціональних відмов у системі. Така передумова коректна, оскільки згідно з доказами Б.І. Григеліоніса та І.Б. Погожева [16] випадкове багаторазове розрідження про- довільного потоку подій призводить до перетворення цього потоку до найпростішого потоку. Дійсно, функціональні відмови системи є результатом трансформації окремих помилок із сумарного потоку помилок. Процес трансформації, характеризується виразом $T = T_{\Phi} g_{\Phi T}$ є повний аналог

багаторазового випадкового розрідження потоку помилок за реальної умови, що $g_{\Phi T} \ll 1$.

У разі короткого оперативного часу керування гарантовано виконується співвідношення $\tau_{\text{оп}}/T_{\Phi} \ll 1$ і формула з похибкою, не більше першого порядку малості, спрощується до виду:

$$K_{\text{офг}}(\tau_{\text{оп}}) \approx K_{\text{фг}} \left(1 - \tau_{\text{оп}}/T_{\Phi}\right), \quad (2.17)$$

$$K_{\text{офг}}(\tau_{\text{оп}}) \approx K_{\text{фг}} - \frac{\tau_{\text{оп}}}{T_{\text{пр}}} \bar{g}(1 - K_{\text{фг}}), \quad (2.18)$$

Розглянемо метод дослідження функціональної надійності за допомогою Марківських ланцюгів:

2.3 Метод розрахунку функціональної надійності ІС з використанням апарату марківських ланцюгів.

Марківські ланцюги з поглинаючими станами немає стаціонарних ймовірностей (тобто все $P_i = 0$). Разом з тим, за допомогою поглинаючих Марківських моделей нерідко можна отримати значення різних практичних величин, які можуть бути корисними при розрахунках показників функціональної надійності інформаційних систем. До них належать:

n_i – середнє число кроків до поглинання за початкового стану s_i (помножив n_i на T , знайдемо середній час до зупинки системи);

b_{ik} – ймовірність того, що за початкового стану s_i процес буде поглинений у стані s_k (ймовірність зупинки системи).

За допомогою цих величин можна визначити ймовірність і середнє напрацювання до функціональної відмови системи. Фундаментальна матриця

поглинаючого Марківського ланцюга. Під час дослідження поглинаючих ланцюгів корисно привести матрицю перехідних ймовірностей до канонічного вигляду.

Для цього потрібно виписати поглинаючі стани першими. Тоді матриця перехідних ймовірностей набуває такого вигляду (рис. 2.3):

$$\begin{array}{c}
 \text{ПОГЛИНАННЯ} \\
 \text{НЕ ПОГЛИНАННЯ}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{ПОГЛИНАЮЧІ} \quad \text{НЕ ПОГЛИНАЮЧІ}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left(\begin{array}{c|c}
 I & 0 \\
 \hline
 R & Q
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

Рисунок 2.3 – Матриця перехідних ймовірностей

Тут I - одинична матриця і 0 - нульова матриця. Це відповідає тому стану, що, потрапивши в стан поглинання, ланцюг у ньому й залишається, і зі станів поглинання неможливий перехід у стан, що не поглинання; R і Q - невід'ємні матриці, що представляють ймовірності переходів зі станів, що не поглинання.

Оскільки суми елементів Π за рядками дорівнюють 1, а R не може бути тотожно дорівнює 0, то суми елементів матриці Q за рядками менші або дорівнюють 1 (≤ 1), причому принаймні в одному рядку сума елементів менша за 1.

Основний результат для кінцевих поглинаючих Марковських ланцюгів полягає в тому, що процес зміни станів обов'язково потрапить у поглинаюче середовище, тобто $Q^n \rightarrow 0$. Справедливе навіть сильніше твердження, що степеневий ряд $N = I + Q + Q^2 + \dots$ завжди сходиться до межі, що дорівнює зворотній матриці для $I - Q$, тобто: $N = (I - Q)^{-1}$.

Матриця N називається фундаментальною матрицею поглинаючого Марківського ланцюга. За допомогою цієї матриці знаходять вектор - стовпець середньої кількості кроків до поглинання за кожного можливого початкового стану:

$$p = (n_i) = N1, \quad (2.19)$$

де 1 - одиничний вектор - стовпець; а також вектор – стовпець

$B = (b_{ik}) = NR$ як ймовірностей попадання Марківського ланцюга в поглинаючі стани (у стані функціональної відмови системи).

Розглянемо приклад.

Нехай інформаційний процес у системі організований із рестартом, тобто. при виявленні помилки відбувається повторення процесу для усунення помилки. Процес повторюється трохи більше трьох разів поспіль. Якщо кожна реалізація призводить до помилкового результату, то виконання інформаційного процесу зупиняється, фіксується функціональна відмова та здійснюється діагностика станів інформаційної системи. Передбачається, що ефективність контролю безпомилковості обчислень дорівнює одиниці. Ймовірність відсутності помилок при кожному одноразовому виконанні обчислювального процесу приймається рівною p .

Визначимо середній час до функціональної відмови за умови, що середня тривалість виконання обчислювального процесу дорівнює τ .

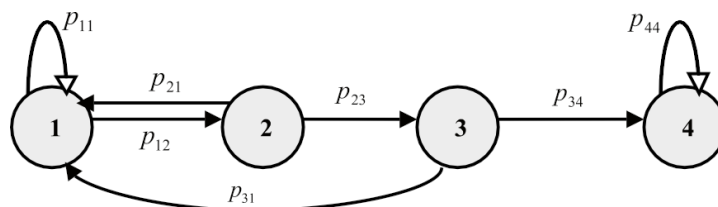


Рисунок 2.4 – Модель надійності системи з поглинаючим станом

Граф станів моделі надійності системи показано на рис. 2.4. У цьому

прикладі стан 4 – поглинаючий. Матриця перехідних ймовірностей Марківського ланцюга $\Pi = (p_{ij})$, при умові $p_{12} = p_{23} = p_{34} = 1 = p = q$ и

$p_{11} = p_{21} = p_{31} = p$; $p_{44} = 1$, має наступний вигляд:

$$\Pi = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ p & q & 0 & 0 \\ p & 0 & q & 0 \\ p & 0 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Представимо матрицю Π у канонічному вигляді:

$$\Pi = \begin{array}{c|ccc} \begin{matrix} I \\ 4 \end{matrix} & \begin{matrix} 4 \\ 1 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ q \end{matrix} & \begin{matrix} p & q & 0 \\ p & 0 & q \\ p & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} R \\ \end{matrix} & & \begin{matrix} Q \end{matrix} \end{array}$$

Фундаментальна матриця:

$$N = (I - Q)^{-1} = \begin{pmatrix} 1-p & -q & 0^{-1} \\ -p & 1 & -q \\ -p & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & q & q^2 \\ p(1+q) & q & q^2 \\ p & q & q^2 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{q^3}$$

Звідси:

$$p = N1 = \begin{pmatrix} 1 & q & q^2 \\ p(1+q) & q & q^2 \\ p & q & q^2 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{q^3} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1+q+q^2}{q^3} \\ \frac{1+q}{q^3} \\ \frac{1}{q^3} \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}$$

Таким чином, середній час до функціональної відмови за умови, що досліджувана система знаходилась у початковому стані 1, визначається виразом:

$$T_{\Phi} = \tau p_1 = \tau \frac{1+q+q^2}{q^3} = \frac{\tau}{G g_{\Phi T}}, \quad (2.20)$$

$$\text{де } G = q; g_{\Phi T} = \frac{q^2}{1+q+q^2}$$

Наприклад, ймовірність помилки при одноразовому виконанні інформаційного процесу дорівнює $G = 10^{-4}$; середня тривалість одноразового виконання процесу $\tau = 1$ мс. Тоді середній час до функціональної відмови системи щодо інформаційного процесу, що виконується, дорівнює $2.8 \cdot 10^5$ ч.

3 МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКА СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ДО ПОМИЛКИ ІС

Розглянемо можливість розрахунку комплексної оцінки показника середнього часу до помилки ІС на основі використання одиничних і комплексних показників надійності.

Пропонується метод розрахунку, який полягає наступному.

1. Розраховуємо середній час простою системи при обслуговуванні одного інформаційного процесу.

Джерелами простою інформаційної системи щодо окремого інформаційного процесу є такі причини:

- затримки заявки у черзі на виконання процесу;
- затримки у виявленні помилки (включаючи функціональні відмови);
- часові витрати на усунення помилки та відновлення інформаційного процесу;
- часові витрати на контроль безпомилковості виконання процесу після його відновлення.

Таким чином, середній час простою в технічному обслуговуванні і-го інформаційного процесу розраховується шляхом підсумовування чотирьох складових:

$$T_{\text{ПР}} = \sum_{j=1}^4 T_{ij}, \quad (3.1)$$

де T_{i1} – середній час затримки заявки у черзі,

T_{i2} – середній час виявлення помилки,

T_{i3} – середній час усунення помилки та відновлення інформаційного процесу,

T_{i4} – середній час контролю безпомилковості виконання процесу

після відновлення.

Чисельні значення наведених складових середнього часу простою в обслуговуванні інформаційного процесу залежать від архітектури інформаційної системи, від організації обслуговування заявок, від ефективності системи контролю та діагностування. Вони суттєво залежать від прийнятої в системі стратегії усунення помилки та відновлення інформаційного процесу, наприклад, шляхом рестарту, або повторного рахунку, або шляхом математичного очікування та виключення можливих помилкових результатів та ін.

2. Обчислюємо коефіцієнт часткової функціональної готовності системи.

Під частковою функціональною готовністю інформаційної системи розуміється її здатність у довільний момент часу безпомилково виконувати певний інформаційний процес. Якщо в межі система виконує лише один інформаційний процес, то коефіцієнт часткової функціональної готовності дорівнюватиме коефіцієнту повної функціональної готовності або для спрощення термінології – коефіцієнту функціональної готовності.

Формульний вираз цього показника має такий вигляд:

$$K_{i\Phi\Gamma} = \frac{T_i}{T_i + T_{i\text{ПР}}}, \quad (3.2)$$

Слід звернути увагу на ту обставину, що в даному показнику містяться параметри, які є лише мірою часу між помилками у виконанні певного процесу та мірою часу усунення помилки. У цьому показнику немає заходів, що стосуються функціональних відмов, як це могло б бути, якби ми керувалися визначенням коефіцієнта готовності технічних засобів. Відмінність важлива. Суть його в тому, що функціональна відмова є наслідком помилки. Більшість помилок не призводять до функціональних відмов. Разом з тим кожна помилка викликає простої часу у виконанні даного процесу. Цю обставину не можна знехтувати. Тривалість простоїв аналогічна як при усуненні помилки, так і при

усуненні функціональної відмови. Відмінність була б тільки в дуже рідкісних випадках, коли функціональна відмова викликає неприпустиму шкоду. У цих випадках було б потрібне застосування спеціальної технології повернення системи у вихідний стан. Такі функціональні відмови називають небезпечними, іноді критичними. Дослідження їх не належать до предмета функціональної надійності.

3. На основі формули (3.2) обчислюємо коефіцієнт функціональної готовності системи.

За умови незалежності інформаційних процесів коефіцієнт функціональної готовності системи визначається так:

$$K_{\Phi\Gamma} = \sum_{j=0}^M \sum_{i=1}^j K_{i\Phi\Gamma} \prod_{i=1}^{M-j} (1 - K_{i\Phi\Gamma}) (1 - \sum_{i=1}^{M-j} \omega_i), \quad (3.3)$$

де $\prod_{i=1}^0 (1 - K_{i\Phi\Gamma}) = 1$; $\prod_{i=1}^0 K_{i\Phi\Gamma} = 1$; $\sum_{i=0}^0 \omega_i = 0$, $\sum_{i=1}^M \omega_i = 1$.

Тут ω_i – вага деякого процесу (тобто значимість, вклад процесу в ефективність роботи системи).

4. Нарешті розраховуємо комплексної оцінки показника середнього напрацювання на помилку системи під час виконання інформаційних процесів.

Отже відомі такі показники: коефіцієнт функціональної готовності $K_{\Phi\Gamma}$ (3.3) та середній час простою системи $T_{\text{ПР}}$ (3.1). Отже, формальне вираження невідомого показника середнього часу до помилки системи T_c можна знайти за допомогою формули коефіцієнта готовності (3.2).

$$K_{\Phi\Gamma} = \frac{T_c}{T_c + T_{\text{ПР}}},$$

Звідси

$$T_c = \frac{T_{\text{ПР}} K_{\Phi\Gamma}}{1 - K_{\Phi\Gamma}}, \quad (3.4)$$

4 ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ОБЧИСЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ІС

4.1 Приклад розрахунку ймовірності функціональної відмову системи диспетчерської централізації

Інформаційна система диспетчерської централізації містить АРМ поїзного диспетчера, мережеві концентратори, шлюзові машини, канали зв'язку (зазвичай волоконно-оптичні лінії зв'язку ВОЛЗ), модулі МАЙСТЕР, внутрішні мережі CAN, модуль виведення команд управління пристроями залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ), а також модулі введення. Спрощена структурна схема системи показано на рис. 4.1.

За командою диспетчера з модуля МАЙСТЕР видається керуюча інформація, яка подається на модуль виведення і потім пристрої ЗАТ. Якщо в результаті помилки в процесі формування керуючої інформації з постійного пристрою модуля МАЙСТЕР на модуль виводу подається кодове слово, яке не відноситься до множини дозволених, то дана помилка трансформується в функціональну відмову системи.

Відомі такі вихідні дані:

GPR – ймовірність помилки у виконанні процесу формування інформації, що управляє;

V – обсяг пам'яті у модулі МАЙСТЕР;

n – кількість біт у комірці пам'яті;

ω – тактова частота процесора модуля зчитування інформації з пам'яті.

Потрібно встановити умовну ймовірність того, що кодове слово, що зчитується з модуля МАЙСТЕР, не належить до дозволених слів.

Розглянемо підхід для розрахунку цієї ймовірності. Нехай у пам'яті сформувалася хибна інформація в осередках. Ймовірність формування неправдивої інформації в одній комірці пам'яті дорівнює

$$g_{\text{ош}} = \frac{G_{\text{ПР}}}{V}, \quad (4.1)$$

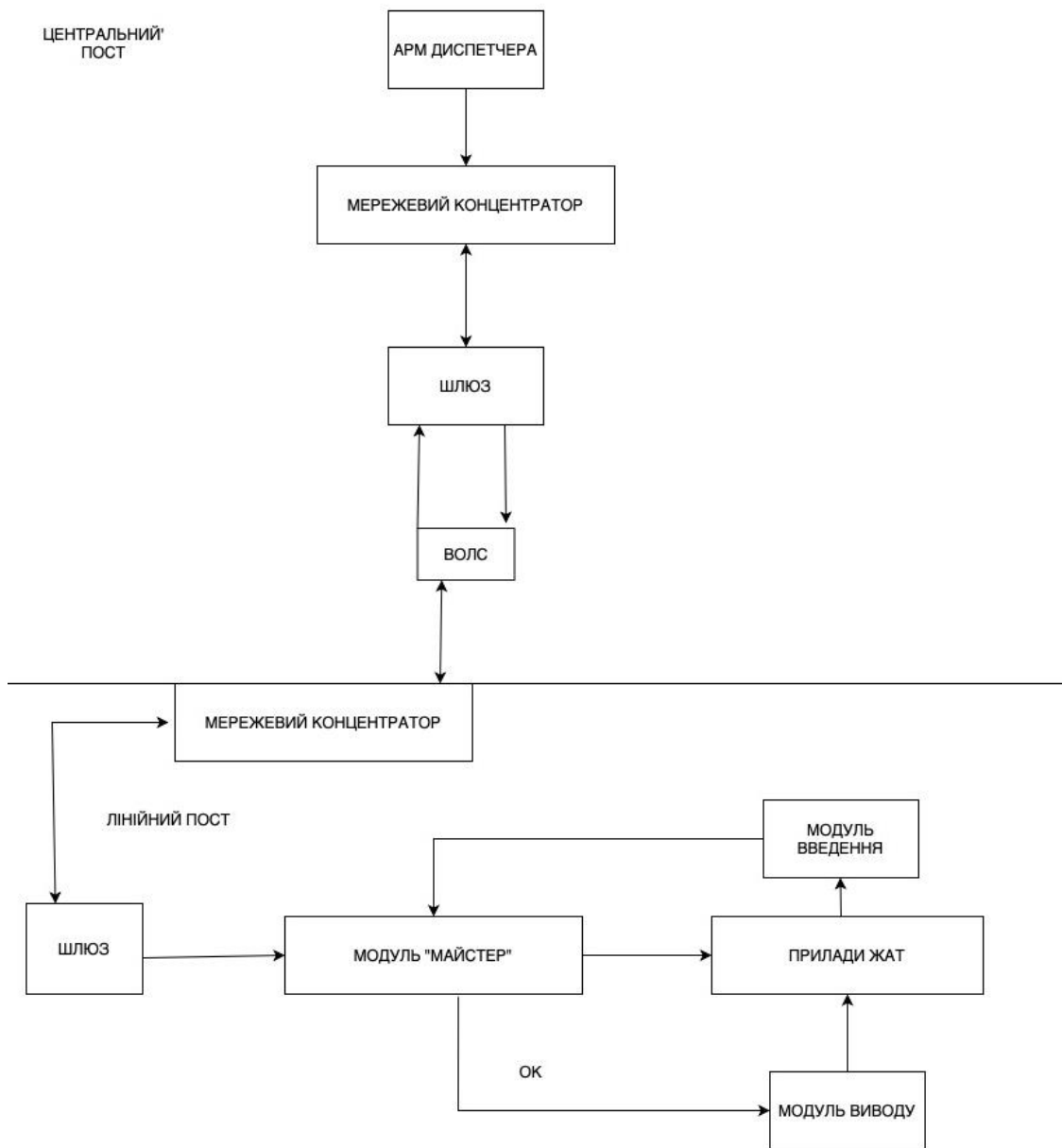


Рисунок 4.1 – Спрощена структурна схема системи диспетчерської централізації

Тоді ймовірність того, що з k осередків буде пораховано рівно r хибних слів, дорівнює

$$p(k, r) = C_k^r g_{\text{ош}}^r (1 - g_{\text{ош}})^{k-r}, \quad (4.2)$$

Математичне очікування кількості використаних при зчитування інформації осередків пам'яті з неправдивою інформацією та дорівнює:

$$\bar{m} = \sum_{r=0}^{\infty} r p(k, r) = r \cdot g_{\text{ош}}, \quad (4.3)$$

Оскільки між числом тактів зчитування інформації та кількістю порахованих слів існує пряма залежність $z = \frac{r \cdot n}{\omega}$, то математичне очікування кількості використаних при зчитуванні за один такт інформації осередків пам'яті з неправдивою інформацією

$$\bar{m}_1 = \frac{r}{z} g_{\text{ош}} = \frac{\omega}{n} g_{\text{ош}}, \quad (4.4)$$

Параметр \bar{m}_1 є інтенсивність зчитування неправдивої інформації в одиницю часу (одного машинного такту), тобто. $\bar{m}_1 = \lambda_{\text{сч}}$.

Оскільки, за визначенням, постійна інтенсивність відмови (помилки) збігається з ймовірністю відмови (помилки) за одиницю часу або за одну дію. Це означає справедливість рівності $\lambda = G(1)$, що стосовно даної задачі означає збіг ймовірності зчитування помилкової інформації в одиницю часу (в один такт) з інтенсивністю зчитування цієї інформації $\lambda_{\text{сч}} = g_{\text{сч}}$.

Звідси випливає, що умовна ймовірність трансформації помилки у виконанні процесу формування керуючої інформації у функціональну відмову за умови, що помилка призвела до формування хибної інформації в пам'яті, може бути обчислена за формулою:

$$g_{\text{фТ}} = g_{\text{сч}} = \frac{\omega}{n} g_{\text{ош}}, \quad (4.5)$$

Наведемо чисельні значення: Частота роботи центрального процесора модуля МАЙСТЕР $\omega = 2 \cdot 10^6$ опер/с. Довжина кодового слова на вході модуля МАЙСТЕР $n = 16$. Об'єм пам'яті модуля МАЙСТЕР $V = 2^{20}$ байт. Ймовірність помилки у виконанні процесу формування інформації, що управляє $G_{\text{ПР}} = 10^{-3}$

Тоді, $g_{\text{ОШ}} = \frac{G_{\text{ПР}}}{V} = \frac{10^{-3}}{10^6} = 10^{-9}$, а умовна ймовірність трансформації помилки у функціональну відмову $g_{\text{ФТ}} = \frac{\omega}{n} g_{\text{ОШ}} \frac{2 \cdot 10^6}{16} 10^{-9} = 1.2 \cdot 10^{-4}$.

4.2 Приклад розрахунку показників функціональної надійності одноканальної інформаційної системи

Нехай на вхід ІС надходить два потоки заявок ($M=2$).

Система одноканальна, черга на обслуговування відсутня Перший потік заявок є пріоритетним. Функції розподілу часу між заявками

$$F_k(t) = 1 - \exp(-\lambda_k t); k = 1, 2, \quad (4.6)$$

Функції розподілу часу обслуговування заявок, де λ_k, μ_k - інтенсивності надходження або відповідно обслуговування заявок. Відомі значення Чисельні значення вихідних даних :

$$G_k, g_{\text{кiфi}}; \omega_k; T_{\text{лПР}}; k = 1, 2, \\ Q_k(t) = 1 - (1 + \mu_k t) \exp(-\mu_k t); k = 1, 2, \quad (4.7)$$

де λ_k, μ_k

$$\lambda_1 = 100^1/\text{с}; \lambda_2 = 500^1/\text{с}; \mu_1 = \mu_2 = 10^3 1/\text{с}; G_1 = 10^{-6}; G_2 = 10^{-7}; \\ g_{1\text{ФТ}} = g_{2\text{ФТ}} = 10^{-3}; \omega_1 = 0,7; \omega_2 = 0,3; T_{1\text{ПР}} = T_{2\text{ПР}} = 10^{-1}\text{ч.}, \tau_{\text{ОП}} = 8\text{ч}$$

Потрібно визначити чисельні значення показників функціональної надійності інформаційної системи.

Розв'язання задачі здійснюється відповідно до зазначених вище етапів.

Етап. 1. Будується графова модель одноканальної системи

із пріоритетним обслуговуванням першого із двох потоків заявок.

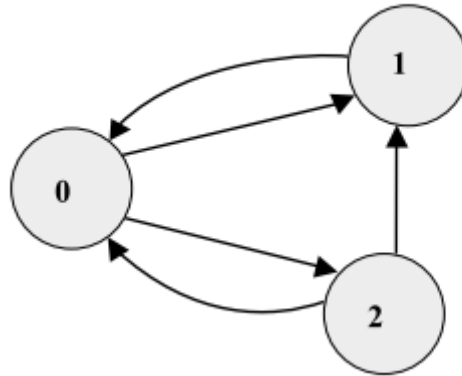


Рисунок 4.2 – Графова модель одноканальної системи без черги з пріоритетним обслуговуванням першого із двох інформаційних процесів

Стан 0 – заявки відсутні; стан 1 – виконується інформаційний процес з обслуговування першого потоку заявок; стан 2 – виконується інформаційний процес обслуговування другого потоку заявок, у разі поступлення заявки першого потоку обслуговування припиняється і система переходить до обслуговування першого потоку заявок.

Етап. 2. Кожній вершині графа приписуються випадкові

величини часу між заявками та часу обслуговування та визначаються умовні функції розподілу часу переходу з вершини (стану)

до інших станів.

$$F_0(t) = F_{01}(t)F_{02}(t) = [1 - \exp(-\lambda_1 t)][1 - \exp(-\lambda_2 t)], \quad (4.8)$$

$$F_1(t) = Q_{10}(t) = 1 - (1 + \mu_1 t)\exp(-\mu_1 t), \quad (4.9)$$

$$F_2(t) = Q_{20}(t)F_{21}(t) = [1 - (1 + \mu_2 t)][1 - \exp(-\lambda_1 t)], \quad (4.10)$$

де $F_{01}(t) = F_{21}(t)$.

Етап. 3. Визначаються функції густини $f_k = (t)$:

$$f_{01}(t) = \frac{dF_{01}(t)}{dt} F_{02}(t) = \lambda_1 \exp(-\lambda_1 - \lambda_2)t, \quad (4.11)$$

$$f_{02}(t) = \frac{dF_{02}(t)}{dt} F_{01}(t) = \lambda_2 \exp(-\lambda_1 - \lambda_2)t, \quad (4.12)$$

$$f_{10}(t) = \frac{dQ_{10}(t)}{dt} = \mu_1^2 t \exp(-\mu_1)t, \quad (4.13)$$

$$f_{20}(t) = \frac{dQ_{20}(t)}{dt} F_{21}(t) = \mu_2^2 t \exp(-\lambda_1 - \mu_2)t, \quad (4.14)$$

$$f_{21}(t) = \frac{dF_{21}(t)}{dt} Q_{20}(t) = \lambda_1(1 + \mu_2 t) \exp(-\lambda_1 - \mu_2)t, \quad (4.15)$$

Етап. 4. Визначаються перехідні ймовірності p_{ij} та математичні очікування T_i :

$$P_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}; P_{02} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}; P_{10} = 1, \quad (4.16)$$

$$P_{20} = \frac{\mu_2^2}{(\lambda_1 + \mu_2)^2}; P_{21} = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2}, \quad (4.17)$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}; T_1 = \frac{2}{\mu_1}; T_2 = \frac{(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_2)^2}, \quad (4.18)$$

Етап. 5. Знаходяться фінальні (стаціонарні) ймовірності перебування системи у кожному із станів:

$$P_0 = \frac{T_0}{T_0 + (p_{01} + p_{02}p_{21})T_1 + p_{02}T_2} = \frac{T_0}{A}, \quad (4.19)$$

$$P_1 = \frac{(p_{01} + p_{02}p_{21})T_1}{A}; P_2 = \frac{p_{02}T_2}{A}, \quad (4.20)$$

Етап. 6. Визначаються середні часи між сусідніми реалізаціями першого та другого інформаційних процесів

$$\tau_1 = \frac{T_1}{P_1} = \frac{A}{p_{01} + p_{02}p_{21}}; \tau_2 = \frac{T_2}{P_2} = \frac{A}{p_{02}}, \quad (4.21)$$

Етап. 7. Визначаються чисельні значення показників функціональної надійності системи - середні напрацювання між частковими функціональними відмовами

$$T_{1\Phi} = \frac{\bar{T}_1}{G_1g_{1\Phi T}} = \frac{\tau_1}{G_1g_{1\Phi T}} = \frac{A}{(p_{01} + p_{02}p_{21})G_1g_{1\Phi T}}; T_{2\Phi} = \frac{A}{p_{02}G_2g_{2\Phi T}}, \quad (4.22)$$

Для обчислення зазначених показників потрібно попередньо визначити перехідні ймовірності та математичні очікування згідно з етапом 4

$$p_{01} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{1}{6}; p_{02} = \frac{5}{6}; p_{10} = 1;$$

$$p_{20} = \frac{\mu_2^2}{(\lambda_1 + \mu_2)^2} = 0.91; p_{21} = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + 2\mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} = 0.19,$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{с}; T_1 = \frac{2}{\mu_1} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{с};$$

Потім обчислюється параметр $A = T_0 + (p_{01} + p_{02}p_{21})T_1 + p_{02}T_2 = 1.87 \cdot 10^{-3}$ та середні часи між реалізаціями першого та другого інформаційних процесів

$$\tau_1 = \frac{A}{p_{01} + p_{02}p_{21}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.32} = 5.84 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$\tau_2 = \frac{A}{p_{02}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.83} = 2.25 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

Таким чином,

$$T_{1\Phi} = \frac{A}{(p_{01} + p_{02}p_{21})G_1g_{1\Phi\Gamma}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.32 \cdot 10^{-9}} = 5.84 \cdot 10^6 \text{ с} = 1623 \text{ ч}.$$

При цьому середнє напрацювання на помилку дорівнює

$$T_{1C} = T_{1\Phi\Gamma}g_{1\Phi\Gamma} = 1.64 \text{ ч};$$

$$T_{2\Phi} = \frac{A}{p_{02}G_2g_{2\Phi\Gamma}} = \frac{1.87 \cdot 10^{-3}}{0.32 \cdot 10^{-9}} = 2.21 \cdot 10^7 \text{ с} = 6258 \text{ ч}.$$

В такому випадку середнє напрацювання на помилку дорівнює

$$T_{2C} = T_{2\Phi\Gamma}g_{2\Phi\Gamma} = 6.26 \text{ ч};$$

Далі розраховуються коефіцієнти часткової функціональної готовності

$$K_{1\Phi\Gamma} = \frac{T_1}{T_1 + T_{1\text{ПР}}} = \frac{1.62}{1.62 + 0.1} = 0.94.$$

$$K_{2\Phi\Gamma} = \frac{T_2}{T_2 + T_{2\text{ПР}}} = \frac{6.26}{6.26 + 0.1} = 0.98.$$

За формулою (2.17) визначається коефіцієнт функціональної готовності системи

$$K_{\Phi\Gamma} = K_{1\Phi\Gamma}K_{2\Phi\Gamma} + K_{1\Phi\Gamma}(1 - K_{2\Phi\Gamma})(1 - \omega_2) + K_{2\Phi\Gamma}(1 - K_{1\Phi\Gamma})(1 - \omega_1) = 0.952.$$

Наступним кроком обчислюється середній час простою систем.

$$T_{\text{ПР}} = \frac{G_1 k_1 T_{1\text{ПР}} + G_2 k_2 T_{2\text{ПР}}}{G_1 k_1 + G_2 k_2} = \frac{10^{-6} \cdot 0.17 \cdot 0.1 + 10^{-7} \cdot 0.83 \cdot 0.1}{10^{-6} \cdot 0.17 + 10^{-7} \cdot 0.83} = 0.1 \text{ ч}$$

Далі визначається середнє напрацювання на помилку системи

$$T_{\text{с}} = \frac{T_{\text{ПР}} K_{\text{ФГ}}}{1 - K_{\text{ФГ}}} = 1.9 \text{ ч};$$

За формулою (2.14) обчислюється середнє напрацювання на повну функціональну відмову системи

$$T_{\text{Ф}} = \frac{T}{\bar{g}_{\text{ФГ}}} = 1900 \text{ ч, де } \bar{g}_{\text{ФГ}} = \frac{g_{1\text{ФГ}} + g_{2\text{ФГ}}}{2} = 10^{-3}.$$

за формулою (2.18) обчислюється коефіцієнт оперативної функціональної готовності протягом часу роботи зміни оперативного персоналу інформаційної системи (протягом часу керування 8 год.)

$$K_{\text{оФГ}}(\tau_{\text{оп}}) \approx K_{\text{ФГ}} - \frac{\tau_{\text{оп}}}{T_{\text{ПР}}} \bar{g}_{\text{ФГ}} (1 - K_{\text{ФГ}}) = 0.952 - 0.080 \cdot 0.048 = 0.948$$

ВИСНОВКИ

Під функціональною надійністю розуміється по суті готовність системи до виконання передбачених завдань.

Оцінка функціональної надійності ІС є складним процесом, який полягає в детальному аналізі її надійності з урахуванням таких визначальних факторів як збійні та програмні помилки, помилки операторів, а також помилки у вхідній інформації. По суті це комплексна оцінка надійності сукупності програмного, інформаційного та технічного забезпечення. Тому вирішення цієї задачі є дуже актуальним при створенні сучасних ІС.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено проблему комплексної оцінки функціональної надійності інформаційних систем.

Були визначені основні проблеми обчислення такого роду оцінок, проаналізовані різні підходи до їх вирішення, а також досліджені існуючі методи оцінки функціональної надійності ІС.

Основна увага в дослідженні була приділена аналізу проблеми побудови комплексних показників та їх використання для оцінки надійності ІС при розв'язанні практичних завдань.

Для оцінки функціональної надійності ІС в роботі розроблено метод розрахунку комплексної оцінки показника середнього напрацювання на помилку системи під час виконання інформаційних процесів, який базується на використанні одиночних оцінок, що характеризують окремі властивості надійності системи. Ця комплексна оцінка дозволяє одночасно враховувати різні показники надійності, які відображають безпомилковість (безвідмовність) роботи функціональних складових ІС.

Отримані у роботі результати можуть бути використані при вирішенні задач щодо оцінки надійності функціонування ІС та прийняття рішення на основі отриманої комплексної оцінки про проведення необхідних операцій для

покращення ІС з точки зору підвищення відмово стійкості, усунення загроз функціональній надійності, а також зменшення збоїв функціонального характеру та збійних помилок при виконанні функціональних завдань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до передатестаційної практики для студентів усіх форм навчання спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, освітньо-професійної програми "Інформаційні управляючі системи та технології" / Упоряд.: Чалий С.Ф., Євланов М. В., Чала О. В. - Харків: ХНУРЕ, 2021.
2. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи (для студентів усіх форм навчання другого (магістерського) рівня програми "Інформаційні управляючі системи та технології") / Упоряд.: Петров К.Е., Левикін В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Сасенко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. - Харків. ХНУРЕ, 2021. - 30 с.
3. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. – Чинний від 22.06.2015. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
4. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 04.03.2016. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.
5. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. Москва, Журнал Надежность, 2012, 296 с.
6. Пошивалов В. П., Данієв Ю. Ф., Резниченко Л. В.. Класифікація методів забезпечення надійності інформаційних систем. Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні: матеріали наук.-техн. міжн. конф., м. Дніпро, 16-18 берез. 2021р. Дніпро 2021. С. 185-186.
7. Гаранин А. И. О функциональной надежности информационных систем. Информационные технологии в науке, образовании и управлении, 2008, № 2, с. 45–50.

8. Шубинский И. Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. Москва, Журнал Надежность, 2012, 216 с.
9. Олех Т. М., Гогунський В. Д., Барчанова Ю. С., Дмитренко К. М. Дослідження поглинаючих станів системи за допомогою марківських ланцюгів та фундаментальної матриці. С. 17-21. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1174.4>
10. Балдін, К. В. Інформаційні системи в економіці/К.В. Балдін, В.Б. Уткін. – М.: Дашков та Ко, 2008. – 396 с.
11. Банківські інформаційні системи та технології. Частина 1. Технологія банківського обліку. – К.: Фінанси та статистика, 2005. – 384 с.
12. Біленька, М. Н. Адміністрування в інформаційних системах / М.М. Біленька, С.Т. Малиновський, Н.В. Яковенко. – М.: Гаряча лінія – Телеком, 2011. – 400 с.
13. Біонічні інформаційні системи та їх практичні застосування / Колектив авторів. - Москва: РДГУ, 2011. - 964 с.
14. Васильков, А. В. Безпека та управління доступом в інформаційних системах / А.В. Васильків, І.А. Васильків. – К.: Форум, 2010. – 368 с.
15. Вдовенко, Л. А. Інформаційна система підприємства/Л.А. Вдовенко. – М.: Вузовський підручник, Інфра-М, 2010. – 240 с.
16. Грекул, В.І. Автоматизація діяльності підприємства роздрібною торгівлі із використанням інформаційної системи Microsoft Dynamics NAV / В.І. Грекул. - М: Біном. Лабораторія знань, 2014. – 633 с.
17. Єгоров, А. Ф. Інформаційна система аналізу надійності обладнання та хіміко-технологічних систем з використанням веб-технологій / О.Ф. Єгоров. – К.: Синергія, 2016. – 775 с.
18. Ємельянова, Н. З. Інформаційні системи економіки / Н.З. Ємельянова, Т.Л. Партика, І.І. Попов. – М.: Форум, Інфра-М, 2009. – 464 с.

19. Івлєв, В. А. ABIS. Інформаційні системи з урахуванням дій / В.А. Івлєв, Т.В. Попова. – К.: ІС-Паблішинг, 2005. – 248 с.
20. Ізбачков, Ю. Інформаційні системи / Ю. Ізбачков, В. Петров. - Москва: ІЛ, 2006. - 656 с.
21. Інформаційні системи – міф та дійсність. - М: Знання, 1992. - 954 с.
22. Інформаційні системи економіки. – К.: Вузовський підручник, 2008. – 416 с.
23. Інформаційні системи економіки. – М.: ІНФРА-М, 2012. – 240 с.
24. Інформаційні системи економіки. – М.: Юніті-Дана, 2008. – 464 с.
25. Ісаєв, Г. Н. Інформаційні системи в економіці / Г.М. Ісаєв. – К.: Омега-Л, 2012. – 464 с.
26. Краус, М. Вимірювальні інформаційні системи / М. Краус, Е. Вошні. - М:Світ, 1975. - 310 с.
27. Криницький, Н.А. Автоматизовані інформаційні системи / Н.А. Криницький, Г.А. Миронов, Г.Д. Фролів. - М: Наука, 1982. - 382 с.
28. Любарський, Ю.Я. Інтелектуальні інформаційні системи / Ю.Я. Любарський. - М: Наука, 1980. - 232 с.
29. Любарський, Ю.Я. Інтелектуальні інформаційні системи / Ю.Я. Любарський. - М: Наука, 1990. - 228 с.
30. Маглінець, Ю.А. Аналіз вимог до автоматизованих інформаційних систем / Ю.А. Маглінець. - М: Біном. Лабораторія знань, 2014. – 424 с.
31. Мезенцев, К. Н. Автоматизовані інформаційні системи / К.М. Мезенцев. – К.: Академія, 2010. – 176 с.
32. Мезенцев, К. Н. Автоматизовані інформаційні системи / К.М. Мезенцев. – Москва: Вища школа, 2011. – 176 с.
33. Путькіна, Л. В. Інтелектуальні інформаційні системи / Л.В. Путькіна, Т.Г. Піскунова. - М: СПбГУП, 2008. - 228 с.

34. Раннев, Г. Г. Вимірювальні інформаційні системи / Г.Г. Ранні. – М.: Academia, 2010. – 336 с.
35. Редько, В.М. Бази даних та інформаційні системи / В.М. Редько, І.А. Басараб. - М: Знання, 1987. - 350 с.
36. Рубічов, Н. А. Вимірювальні інформаційні системи / Н.А. Рубичів. – М.: Дрофа, 2010. – 336 с.