

**Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко,
Я.Е. Курята, Ю.В. Мирошниченко**

**ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТА
СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Міністерство освіти і науки України
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

**Л.М. Сакович, В.П. Романенко, І.М. Гиренко,
Я.Е. Курята, Ю.В. Мирошніченко**

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник

*Рекомендовано Вченою радою ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського
для здобувачів ступеню вищої освіти бакалавр за освітньо-професійними
програмами «Комп'ютерні системи і технології спеціального зв'язку»
спеціальність 122 Комп'ютерні науки, «Безпека державних інформаційних
ресурсів» спеціальність 125 Кібербезпека та захист інформації та «Спеціальні
телекомунікаційні системи» спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

УДК 621.391-192 (075.8)
С71

*Рекомендовано Вченою радою
ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 4 від 25.11.2021 р.)*

Рецензенти: *Шишанов М.О., д-р техн. наук, проф.*
Радзивілов Г.Д., канд. техн. наук, доц.

Сакович Л. М.

С71 Технічна експлуатація засобів та систем зв'язку: навч. посіб. /
Л. М. Сакович та ін.; ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2021. – 176 с.

У навчальному посібнику викладено основні теоретичні положення та ключові поняття з теорії надійності, технічного обслуговування та ремонту засобів та систем зв'язку, а також кількісної оцінки надійності вузлів зв'язку.

Посібник розрахований на курсантів, які навчаються за спеціальностями 122 Комп'ютерні науки, 125 Кібербезпека, 172 Телекомунікації та радіотехніка, а також фахівців з експлуатації засобів та систем зв'язку під час виконання ними службових обов'язків.

УДК 621.391-192 (075.8)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БАГАТОРЕЖИМНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ	8
1.1. Основні поняття і визначення теорії надійності	8
1.2. Кількісні показники надійності засобів спеціального зв'язку	16
1.3. Напрямки підвищення показників надійності	20
1.4. Орієнтовний розрахунок надійності засобів спеціального зв'язку	23
1.5. Прогнозування надійності об'єктів зі змінною структурою	27
1.6. Оцінка надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою	34
1.7. Метод оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою	46
1.8. Удосконалення методики оцінки показників надійності засобів спеціального зв'язку під час дослідної експлуатації	50
Питання для самоконтролю	61
Завдання на самостійну роботу	61
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА СТАНОМ	62
2.1. Система технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку	62
2.2. Види і зміст робіт при технічному обслуговуванні	64
2.3. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірю- вальної техніки на показники ремонтпридатності засобів спеціального зв'язку	66
2.4. Моделювання порядку перевірки параметрів при технічному обслуговуванні за станом радіоелектронних засобів	71
2.5. Метод визначення послідовності перевірки радіоелектронних засобів при технічному обслуговуванні за станом	78
2.6. Метрологічне забезпечення технічного обслуговування за станом засобів спеціального зв'язку	88
2.7. Дослідження умовних алгоритмів діагностування багато- вихідних об'єктів	95
2.8. Оцінювання впливу конструкції на надійність радіо- електронних засобів	104
Питання для самоконтролю	110
Завдання на самостійну роботу	110
РОЗДІЛ 3. РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ	113
3.1. Система ремонту технологічного обладнання	113
3.2. Матеріальна база і технічне забезпечення ремонту	120
3.3. Предмет і задачі технічної діагностики	123
3.4. Методи пошуку дефектів у засобах спеціального зв'язку	124

3.5. Способи перевірки стану елементів та вузлів засобів спеціального зв'язку	127
3.6. Класифікація моделей об'єктів, алгоритмів та засобів діагностування	132
3.7. Побудова діагностичних моделей і алгоритмів пошуку дефектів	140
3.8. Розробка діагностичних програм засобів спеціального зв'язку	146
3.9. Моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами	152
3.10. Комплексна оцінка ефективності системи спеціального зв'язку	159
Питання для самоконтролю	172
Завдання на самостійну роботу	172
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	174

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

АТЗ – апаратна технічного забезпечення
АТС – автоматична телефонна станція
БВО – багато вихідний об'єкт
ВСК – вбудована система контролю
ГІЕС – граф інформаційно-енергетичних зв'язків
ДЗ – діагностичне забезпечення
ДЛМ – дерево логічних можливостей
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
ЗВТ – засіб вимірювальної техніки
ЗІП – запасний інструмент та приладдя
ЗСЗ – засоби спеціального зв'язку
ЗТД – засіб технічного діагностування
ЙПВ – ймовірність переважного вибору
КПН – кількісні показники надійності
КР – капітальний ремонт
МЗ – метрологічне забезпечення
МС – математичне сподівання
ОД – об'єкт діагностування
ПЗ – програмне забезпечення
ПК – персональний комп'ютер
ПР – поточний ремонт
ПТОР – пункт технічного обслуговування і ремонту
РЕЗ – радіоелектронний засіб
СР – середній ремонт
ССЗ – система спеціального зв'язку
СТД – система технічного діагностування
ТЕЗ – типовий елемент заміни
ТС – технічний стан
ТО – технічне обслуговування
ТОС – технічне обслуговування за станом
УАД – умовний алгоритм діагностування
УПП – усічена процедура пошуку

ВСТУП

Завдання Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації – забезпечення якісним зв'язком посадових осіб в мирний та військовий час має рішення тільки під час ефективної експлуатації існуючих засобів спеціального зв'язку. Для цього необхідно забезпечити потрібний рівень надійності під час їх проектування, кваліфіковано виконувати операції технічного обслуговування, відновлювати працездатність за мінімальний час в будь-яких умовах експлуатації. Але в дійсний час існують питання, які не отримали рішення в відомих наукових публікаціях: оцінка надійності складних технічних систем з перемінною структурою під час їх проектування, обґрунтування методичних рекомендацій впровадження технічного обслуговування за станом, розробка діагностичного і метрологічного забезпечення засобів спеціального зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями, оцінка якості функціонування систем спеціального зв'язку в цілому для обґрунтування перспективних варіантів її розвитку.

Тому метою цього навчального посібника є рішення сформульованих актуальних науково-практичних задач і доведення результатів до рекомендацій і методик, що практично будуть реалізовані.

У цьому навчальному посібнику на основі узагальнення бойового досвіду підрозділів Держспецзв'язку та результатів наукових досліджень фахівців ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського містяться рекомендації щодо підвищення якості проектування, технічного обслуговування, ремонту та оцінки використання за призначенням засобів спеціального зв'язку.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БАГАТОРЕЖИМНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

Надійність засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ), основу яких складає військова техніка зв'язку, відноситься до основних показників якості їх функціонування. В дійсний час існують відомі методики кількісної оцінки показників надійності радіоелектронних засобів, але вони не враховують властивість багато режимності ЗСЗ, коли в окремих режимах роботи використовують визначені сукупності елементів виробу. При цьому відсутні не тільки методики оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою, й наукова база щодо їх створення.

Розвиток і удосконалення озброєння і військової техніки, що характерне для сучасного типу науково-технічної революції, здійснюється в напрямку широкої автоматизації, збільшення кількості одночасно виконуваних задач і поліпшення якості їх рішення. Це стало можливим дякуючи використанню нової елементної бази та передових досягнень науки і техніки. В той же час ускладнилась структура систем, багато з яких мають в своєму складі десятки мільйонів комплектуючих елементів. Недостатній рівень експлуатаційної надійності елементів привів до серйозних труднощів в організації експлуатації і ремонту систем, зростанню втрати часу на контроль працездатності і локалізацію виникаючих відмов.

Таким чином, при створенні сучасних багатofункціональних комплексних систем озброєння і військової техніки спостерігається протиріччя між зростаючими потенційними можливостями цих систем та їх реальною ефективністю, що обумовлено недостатнім рівнем експлуатаційної надійності складних систем в процесі тривалої експлуатації – це одна із актуальних проблем сучасної техніки, для рішення якої направлені зусилля вчених, конструкторів, інженерів.

Тому мета розділу – дослідження процесу оцінки надійності багато режимних об'єктів і порядок створення методик, які практично реалізуються в практиці відновлення ЗСЗ з врахуванням отриманих результатів наукових досліджень, а також сучасних досягнень метрології і технічної діагностики.

1.1. Основні поняття і визначення теорії надійності

Безперервне зростання складності об'єктів ЗСЗ, обумовлене розширенням кола задач, які вирішуються при одночасному підвищенні вимог до ефективності функціонування систем в цілому, є об'єктивною тенденцією розвитку озброєння і військової техніки. Поряд з удосконаленням тактико-технічних характеристик таких об'єктів проводиться велика робота по поліпшенню їх надійності. Однак досвід військової експлуатації показує, що

реальні показники експлуатаційної надійності об'єктів не завжди задовольняють заданим вимогам, що приводить до зниження боєготовності військ і негативно відбивається на повному використанні зростаючих потенційних можливостях озброєння і військової техніки.

До числа основних причин, які обумовили недостатній рівень експлуатаційної надійності об'єктів ЗСЗ, можна віднести наступне:

1. Недостатня увага з боку розробників техніки спеціального зв'язку до складання і реалізації науково обґрунтованих програм забезпечення надійності на всіх стадіях життєвого циклу об'єктів і, як наслідок цього, недостатня ефективність цих програм; слабе методичне забезпечення планових заходів і робіт, які включають в себе сукупність нормативно-технічних і методичних документів по проведенню аналізу і підвищенню надійності систем.

2. Помітне відставання темпів зростання надійності комплектуючих елементів від ступеню складності об'єктів ЗСЗ і вимог до них по надійності; довгостроковість проходження нових зразків ЗСЗ від моменту їх створення до освоєння в виробництві і у військах.

3. Недостатня увага приділяється питанням забезпечення високої ремонтпридатності об'єктів ЗСЗ, особливо створюваних на елементній базі третього і четвертого поколінь, а також розробка науково обґрунтованої системи ремонту ЗСЗ, виходячи з їх структури, складу, призначення, особливостей експлуатації і застосування.

4. Незавершеність наукової теорії експлуатації, обумовленої труднощами дослідно-теоретичного дослідження питань експлуатації, що представляє собою складну багато параметричну просторово рознесену організаційно-технічну систему.

Вирішення вказаного протиріччя шляхом забезпечення високої надійності об'єктів ЗСЗ в процесі експлуатації складає суть однієї із актуальніших проблем сучасної техніки.

Забезпечення надійності об'єктів ЗСЗ в теперішній час представляє собою єдиний процес, що охоплює всі етапи їх життєвого циклу, починаючи з самих ранніх, і включає в себе широке коло наукових, інженерних і економічних аспектів. При досягнутих рівнях надійності комплектуючих елементів і якості проектно-конструкторських і виробничо-технологічних робіт основним напрямком рішення сформованої проблеми є удосконалення систем експлуатації на суворо науковій основі. Таку основу дає теорія надійності і експлуатації, що швидко розвивається в теперішній час, і яка виділилась в окрему наукову дисципліну.

Теорія надійності – це дисципліна, яка вивчає закономірності виникнення відмов і відновлення апаратури та досліджує ефективність різноманітних заходів по забезпеченню надійності технічних об'єктів різноманітного цільового призначення.

Теорія надійності і експлуатації виникла на базі теорії ймовірностей,

масового обслуговування, управління виробництвом, ергономіки і ін. Це дозволяє вирішувати задачі приведення об'єктів ЗСЗ в робочий стан і підтримувати їх в цьому стані, використовувати за призначенням з необхідною ефективністю, визначати вплив навколишнього середовища і зовнішніх факторів впливу на технічні характеристики апаратури і дії персоналу, що обслуговує в різних режимах експлуатації ЗСЗ. Вона забезпечує розробку оптимальних методів організації процесу експлуатації об'єктів і систем ЗСЗ.

При проектуванні нових зразків ЗСЗ теорія надійності допомагає правильно вибрати принципи конструювання апаратури для забезпечення заданих показників безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і збереженості, визначати обсяг, зміст і періодичність технічного обслуговування і планових ремонтів та розробляти необхідну технічну документацію.

Сучасна теорія надійності має наступні основні напрямки:

- аналіз надійності складних систем;
- синтез об'єктів з заданою надійністю із недостатньо надійних елементів;
- оцінка відповідності надійності виготовлених об'єктів за результатами спеціальних випробувань необхідним даним;
- вивчення фізичних процесів, що викликають виникнення попередніх відмов (вивчення фізики відмов.)

Точність розуміння і застосування термінів та визначень в теорії надійності – необхідна умова науковості теоретичних і інженерних досліджень, практичних висновків і рекомендацій в області надійності технічних об'єктів.

Розглядувані в теорії і практиці надійності терміни зручно розбити на чотири групи:

- предмети дослідження;
- стани і події;
- властивості об'єктів;
- кількісні показники.

Основні поняття та визначення теорії надійності відповідають ДСТУ 2860-94 “Надійність техніки. Терміни та визначення”.

ДСТУ 2860-94 поширюється на технічні об'єкти, до яких відносяться технічні системи, апаратура, пристрої, елементи і інші, надійність яких розглядається у кожному конкретному випадку на етапах розробки вимог, проектування, виробництва, використання і ремонту.

Предметом дослідження і вивчення в теорії надійності являються об'єкти (вироби).

Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна система.

Примітка. Об'єкт може включати технічні засоби, технічний персонал чи будь-які їх поєднання.

Система – об’єкт, що представляє собою сукупність сумісно діючих елементів, які розглядаються як одне ціле і призначених для виконання визначених функцій.

Елемент – об’єкт, який представляє собою частину системи і виконує окрему функцію.

Поняття система і елемент відносні в тому розумінні, що один і той же об’єкт в одному випадку може бути системою, а в другому – елементом.

Наприклад. Апаратура П-302-0 являється системою, якщо її розглядати як об’єкт, що складається з комплектуючих елементів (транзисторів, резисторів, конденсаторів, тощо). В той же час по відношенню до апаратної П-257-24К апаратура являється її елементом, так, як апаратна включає в себе ще і інші типи апаратури: П-327, П-301, вимірювальний комплект П-322 та ін.

Представлення об’єкту як системи, або як елемента залежить від постановки задачі і мети дослідження.

В залежності від пристосованості до відновлення працездатності всі об’єкти поділяють на ремонтовні і неремонтовні.

Ремонтний об’єкт – об’єкт, ремонт якого можливий та передбачений нормативною, ремонтною чи конструкторською (проектною) документацією (трансформатори і електродвигуни, типові елементи заміни, блоки апаратури і ін.)

Неремонтний об’єкт – об’єкт, ремонт якого неможливий чи непередбачений нормативною, ремонтною чи конструкторською (проектною) документацією (напівпровідникові прилади, інтегральні схеми, резистори і т.д.)

Таким чином, ремонтність об’єкту розуміється, як потенційна можливість відновлення його працездатності.

З точки зору можливості відновлення в конкретних умовах експлуатації об’єкти поділяють на відновлювані і невідновлювані.

Відновлюваний об’єкт – ремонтний об’єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати потрібні функції з заданими кількісними показниками надійності.

Невідновлюваний об’єкт – об’єкт, ремонт якого неможливий чи не дозволяє відновити працездатність із заданими кількісними показниками надійності. Невідновлюваний об’єкт може бути як ремонтним так і неремонтним.

Приклад. Штучний супутник зв’язку при знаходженні на орбіті – невідновлюваний об’єкт, а при випробуванні на Землі – відновлюваний.

В теорії надійності розглядаються наступні основні стани об’єктів: справність, несправність, працездатний, непрацездатний, критичний, граничний (рис. 1.1).

Справність – стан об’єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції. Несправність часто є наслідком відмови об’єкта, але може бути й без неї. Несправний об’єкт не здатний виконувати хоч би одну із заданих функцій.

Працездатний стан – стан об’єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції.

Непрацездатний стан – стан об’єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну з потрібних функцій.

Критичний стан – стан об’єкта, що може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків.

Граничний стан – стан об’єкта, за яким його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Помітимо, що поняття справність ширше поняття працездатність. Працездатний об’єкт може бути справним або несправним.

Наприклад, порушення лакофарбового покриття або несправність резервного елемента безпосередньо не порушують нормального функціонування об’єкта, хоча він при цьому вважається несправним. Непрацездатний об’єкт завжди несправний.

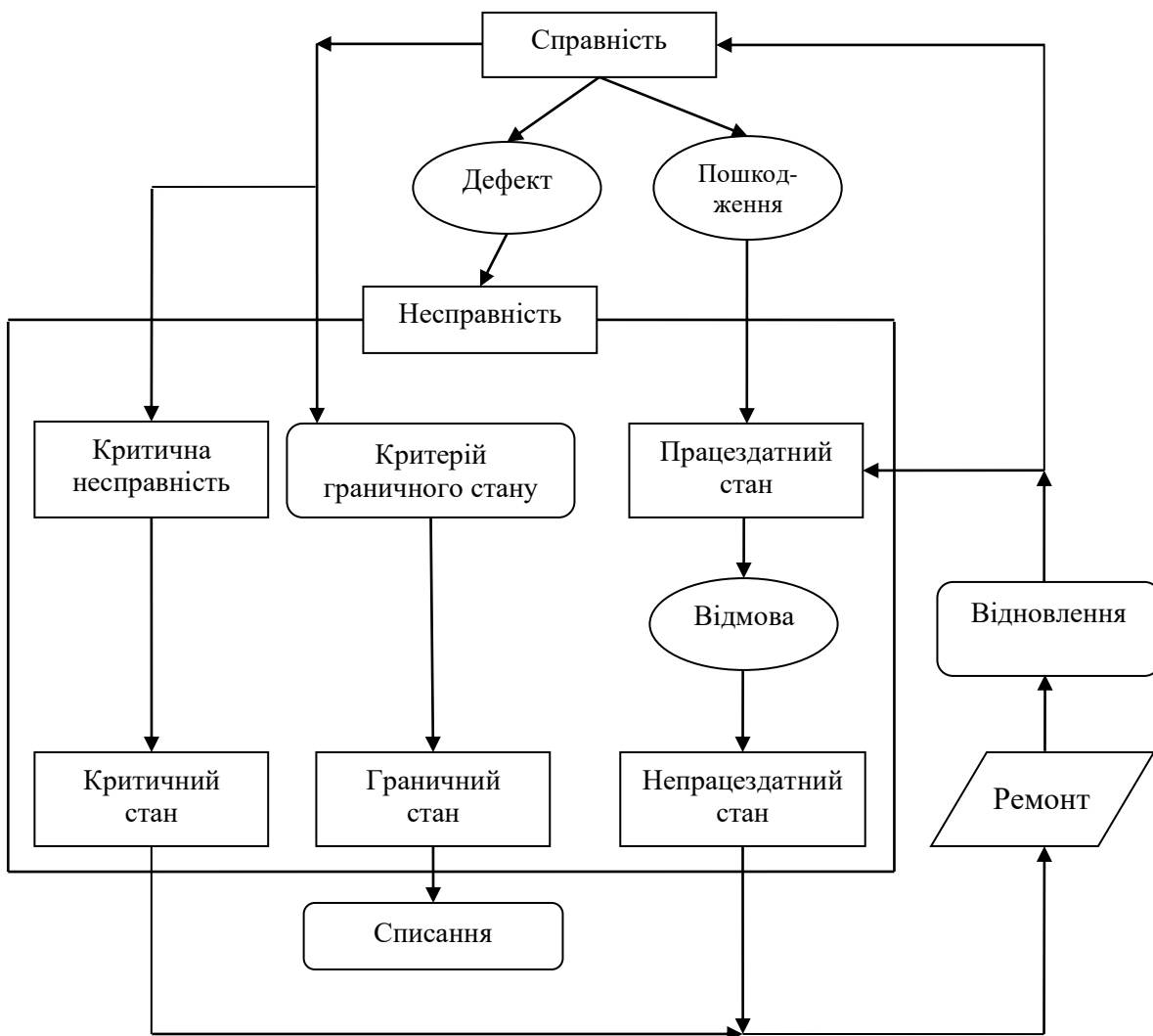


Рисунок 1.1 – Схема станів та переходів об’єкту (ДСТУ 2860-94)

Розглянемо тепер основні події, які пов’язані зі змінами станів об’єкта. Перехід об’єкту з справного стану в несправний відбувається внаслідок дефектів.

Дефект – кожна окрема невідповідність об’єкта встановленим вимогам.

Подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта, називається відмовою.

Пошкодження – подія, яка полягає у порушенні справного стану об'єкта, коли зберігається його працездатність.

Наприклад. Перегорання резистора в резервному блоці апаратури П-327 по відношенню до цього блоку являється відмовою, а по відношенню до об'єкту в цілому – пошкодженням.

Перехід об'єкту в граничний стан веде за собою тимчасове або кінцеве закінчення застосування об'єкту за призначенням.

Характер виникнення і проявлення відмов та пошкодження може бути різним. В залежності від цього відмови класифікують по різним ознакам і видам (табл. 1.1) (рис. 1.2).

Відмова – подія, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкту і переводі його в непрацездатний стан.

Таблиця 1.1

№	Ознаки відмови	Види відмови
1.	Характер зміни параметра до моменту виникнення відмови	Раптова відмова Поступова відмова
2.	Зв'язок з відмовами інших об'єктів (елементів)	Незалежна відмова Залежна відмова
3.	Характер проявлення відмови	Збій Повторювальна відмова
4.	Ступінь впливу на працездатність об'єкта	Часткова відмова Повна відмова
5.	Причина виникнення відмови	Конструкційна відмова Виробнича відмова Експлуатаційна відмова

Раптова відмова – відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом. Приклади раптових відмов: перегорання ниток накалу електронно-вакуумних приладів, струмопровідного слою в резисторі, пробій діелектриків, обриви конденсаторів і т.п.

Відновлення працездатності об'єктів при раптовій відмові проводиться шляхом заміни або ремонту елемента, що відмовив.

Поступова відмова – відмова, спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта.

Незалежна відмова – відмова об'єкта, не спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта.

Залежна відмова – відмова, спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта. Прикладом залежної відмови може служити перегорання резистора внаслідок пробою в конденсаторі. Залежні відмови особливо характерні для інтегральних мікросхем, в яких місцевий перегрів

кристалу може призвести до відмови декількох елементів.

Збій – самоусувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор.

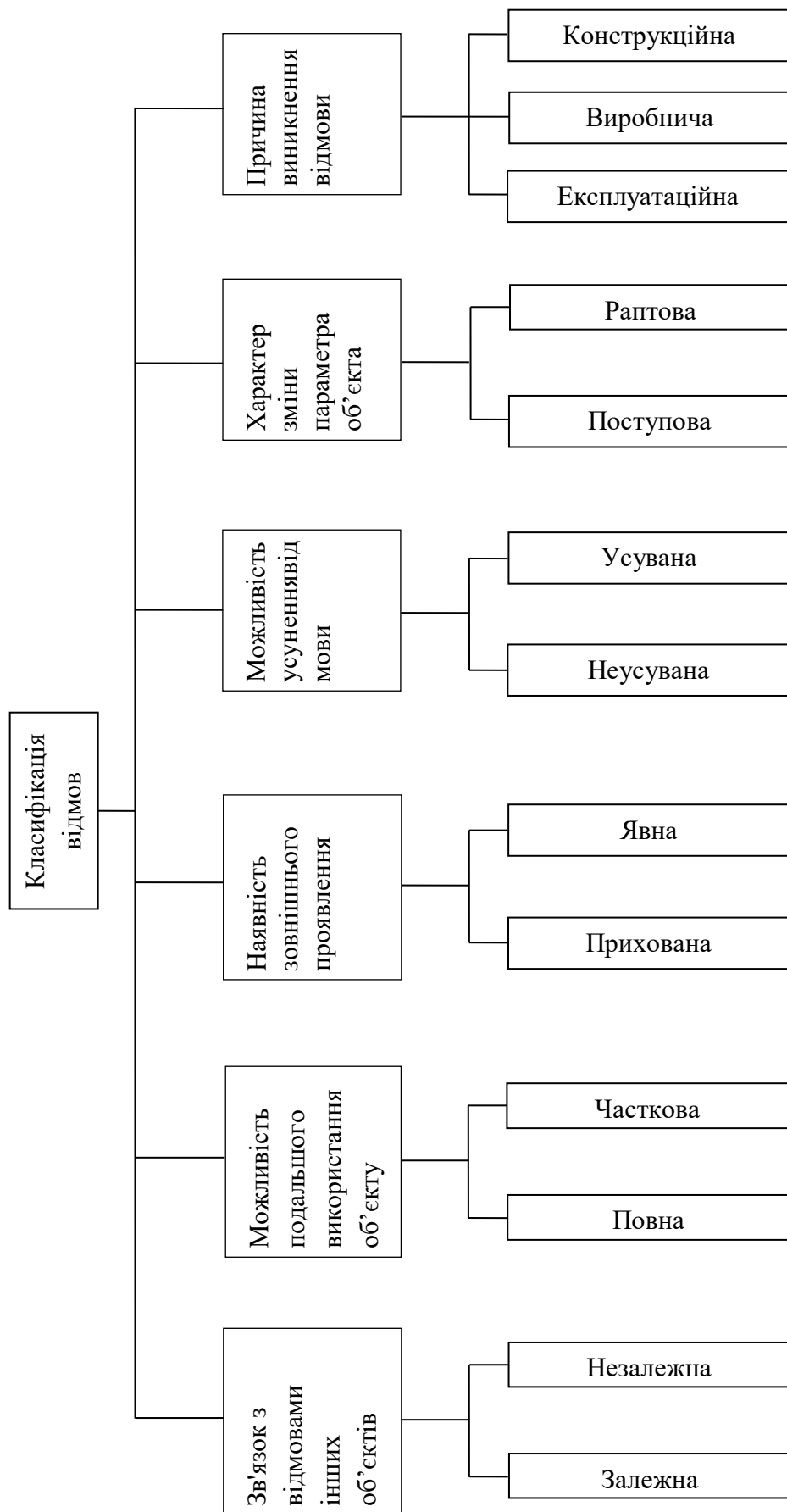


Рисунок 1.2 – Класифікація відмов (ДСТУ 2860-94)

Повторювальна відмова – самоусувна відмова одного й того ж характеру, що виникає багаторазово. Збір і повторювальна відмови характерні для апаратури дискретного типу (ЕОМ, апаратура цифрового зв'язку і т.п.), при функціонуванні якої багаторазово повторюються однотипні операції.

Конструкційна відмова – відмова, спричинена недосконалістю чи порушенням встановлених правил і норм проектування та конструювання об'єкта.

Виробнича відмова – відмова, спричинена невідповідністю виготовлення об'єкта до його проекту чи норм виробничого процесу.

Експлуатаційна відмова – відмова, що виникла по причині, пов'язаній з порушенням встановлених правил чи умов експлуатації.

Для складних багаторежимних об'єктів доцільно ввести поняття часткової і повної відмови.

Часткова відмова – відмова, яка призводить до неспроможності об'єкта виконувати частину з потрібних функцій.

Повна відмова – відмова, що призводить до повної неспроможності об'єкта виконувати жодну з потрібних функцій.

Після проведення аналізу видів об'єкта та його станів переходимо до розгляду однієї з головних властивостей об'єкта – надійності.

Надійність – властивість об'єкту зберігати у часі в встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість чи певні поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Термін наробіток означає тривалість або обсяг роботи об'єкту. Наробіток може бути неперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометрах пробігу тощо), так і цілочисельною величиною (кількість робочих циклів, запусків тощо).

Довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Загальним для безвідмовності і довговічності являється те, що вони містять вимоги зберігання працездатності на протязі визначеного часу або наробітку. Розрізняються ці властивості тим, що безвідмовність вимагає неперервного зберігання працездатності, а довговічність – зберігання працездатності на протязі тривалого часу, включаючи перерви для технічного обслуговування.

Ремонтопридатність – властивість об’єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту.

Ремонтопридатність – одна з важливіших властивостей об’єктів, що ремонтуються.

Збереженість – властивість об’єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об’єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та транспортування.

Збереженість об’єкту характеризується його здатністю протистояти негативному впливу умов тривалого зберігання та транспортування на його безвідмовність, ремонтпридатність та довговічність.

Збереженість представляється у вигляді двох складових, одна з них виявляється під час зберігання, а друга – під час застосування об’єкту або транспортування.

1.2. Кількісні показники надійності засобів спеціального зв’язку

Розглянуті раніше показники називаються одиничними, так як вони дозволяють кількісно оцінити тільки окремі часткові властивості надійності (безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності або збереженості). На практиці необхідно оцінювати і порівнювати між собою об’єкти по декільком властивостям одночасно. Для цих цілей вводять комплексні показники надійності. В наш час широко застосовуються комплексні показники, які враховують тільки часткові властивості надійності – безвідмовність і ремонтпридатність. Розглянемо чотири таких показники: коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт оперативної готовності і коефіцієнт збереження ефективності (рис. 1.3).

Коефіцієнт готовності $A(t)$ – імовірність того, що об’єкт виявиться працездатним в довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об’єкта за призначенням не передбачено.

При використанні апаратури зв’язку за призначенням її нормальне функціонування час від часу буде перериватися через відмови. Імовірність перебування апаратури в працездатному стані, а отже, і її готовність забезпечувати обмін інформацією в будь-який момент часу t залежить від співвідношення тривалості періодів нормальної роботи і відновлення. Наближене значення цієї імовірності одержало назву коефіцієнта готовності і використовується як показник надійності, що враховує як безвідмовність, так і ремонтпридатність.

Коефіцієнт готовності, мабуть, буде тим більше, чим більші періоди роботи в порівнянні з часом, затраченим на відновлення. Його значення можна установити експериментально, зібравши статистичні дані про періоди роботи і відновлення протягом досить тривалого часу експлуатації. Статистичне

значення коефіцієнта готовності визначається відношенням загального часу нормальної роботи до сумарного часу роботи і відновлення:

$$A = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{роб}} + t_{\text{віднов}}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i},$$

де t_i і τ_i – інтервал часу роботи і відновлення відповідно; n – число інтервалів (обсяг статистики).

Розділивши чисельник і знаменник у правій частині на n , одержимо

$$A = \frac{T_n}{T_n + T_B}.$$

При досить великому обсязі статистики статистичні значення наробітку до відмови T_n і середня тривалість відновлення T_B наближаються до істинних значень T і T_B , а статистичне значення коефіцієнта готовності відповідно до його істинного значення A

$$A = \frac{T}{T + T_B},$$

тобто, коефіцієнт готовності дорівнює відношенню наробітку на відмову до суми наробітку на відмову і середньої тривалості відновлення. Організаційні втрати не враховуються, тому як визначається показник, що залежить тільки від властивостей самої апаратури.

Коефіцієнт готовності є узагальненим показником надійності відновлюваних виробів.

Необхідні значення коефіцієнта готовності A для апаратури і приладів військового призначення можуть включатися в тактико-технічне завдання на розробку як оперативно-тактичний показник надійності.

Поряд з коефіцієнтом готовності іноді вводять показник – коефіцієнт неготовності (простою).

Коефіцієнт неготовності (простою) $U(t)$ – імовірність того, що об'єкт виявиться непрацездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачено

$$U = \frac{T}{T + T_B}.$$

Очевидно, що $U = 1 - A$. Обидва коефіцієнта знаходять застосування при оперативно-тактичному аналізі надійності систем зв'язку і розробці вимог до надійності їхніх елементів.

Коефіцієнт оперативної готовності – імовірність того, що за винятком запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено, він у довільний момент часу виявився у працездатному стані і надалі виконуватиме потрібну функцію протягом заданого інтервалу часу.

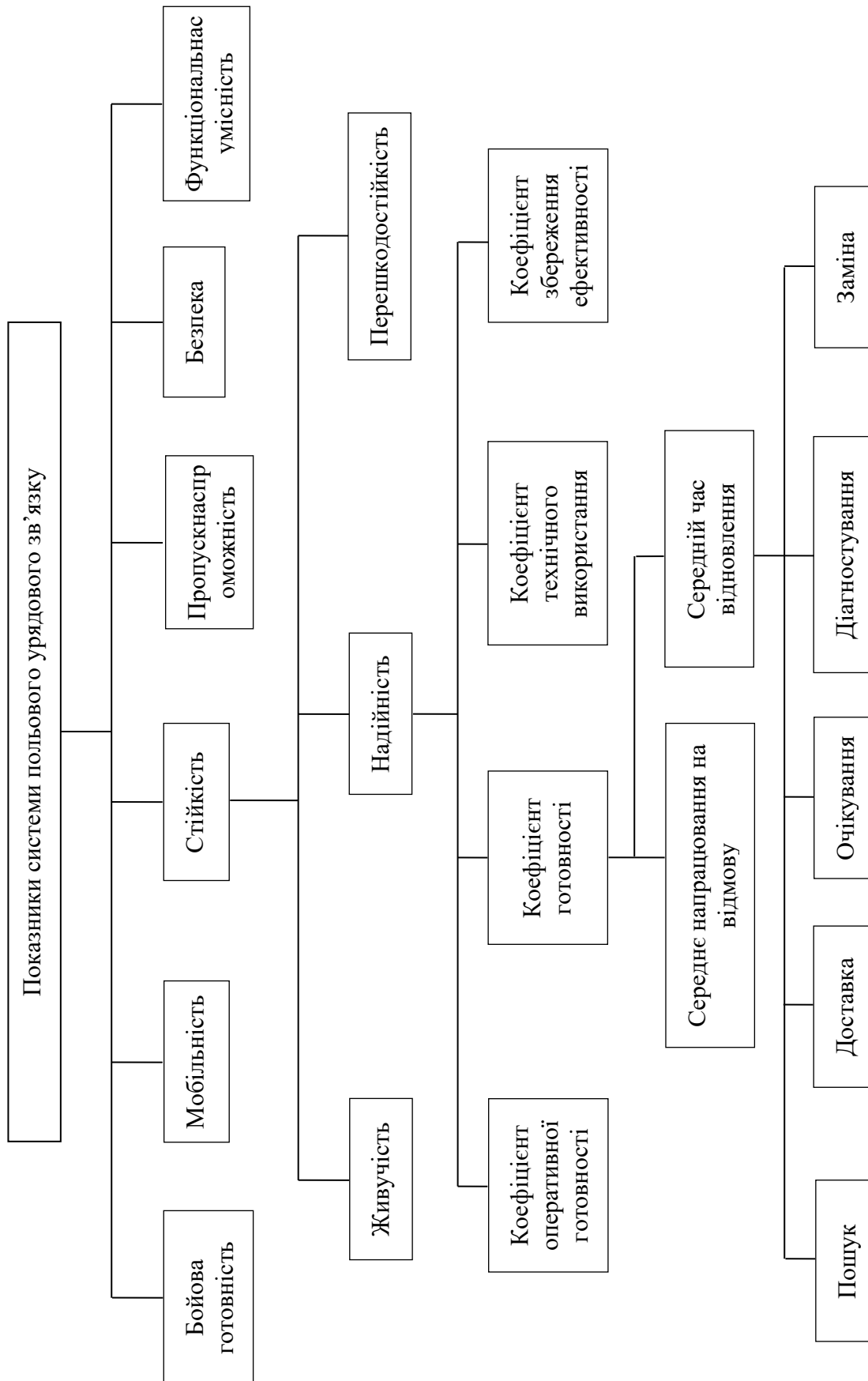


Рисунок 1.3 – Показники якості систем польового урядового зв'язку

Коефіцієнт збереження ефективності – відношення значення показника ефективності використання об'єкта за призначенням за певну тривалість експлуатації до номінального значення цього показника, розрахованого за умови, що відмови об'єкта починаючи з того ж періоду не виникають.

Коефіцієнт технічного використання – відношення математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за той самий період.

У процесі використання засобів зв'язку за призначенням перерви в їхній роботі з технічних причин мають місце не тільки внаслідок відмов і наступних ремонтів, але і для проведення технічного обслуговування. Однак це не означає, що за рахунок профілактичних робіт збільшується загальний час непродуктивних простоїв. Навпаки, своєчасне і якісне виконання технічного обслуговування підвищує ефективність використання техніки внаслідок запобігання відмов і відповідного зменшення простою на ремонті.

Ефективність використання засобів зв'язку з урахуванням всіх простоїв з технічних причин оцінюється **коефіцієнтом технічного використання**, що визначається, як відношення часу роботи до сумарного часу роботи і простоїв на технічному обслуговуванні і ремонті

$$K_{T.B.} = \frac{T_p}{T_p + T_{TO} + T_{рем}}$$

де T_p , $T_{то}$, $T_{рем}$ – загальний час роботи, технічного обслуговування і поточного ремонту за розглянутий період експлуатації, відповідно.

Коефіцієнт технічного використання показує, яку частку загального часу експлуатації задіяні засоби зв'язку працездатні і забезпечують зв'язок. При правильному визначенні часу, що відводиться на виконання технічного обслуговування, і якісному його виконанні, $K_{T.B.}$ виявляється більше K_c за рахунок скорочення простоїв на ремонті і зменшення $T_{рем}$.

Коефіцієнт справності K_c і коефіцієнт технічного використання $K_{T.B.}$ не завжди досить наочно виявляють вплив заходів так як близькі до одиниці. Тому поряд з цими коефіцієнтами іноді використовуються відповідні коефіцієнти простою:

коефіцієнт змушеного простою на ремонті

$$K_{рем} = \frac{T_{рем}}{T_p + T_{TO} + T_{рем}}$$

і коефіцієнт простою на технічному обслуговуванні

$$K_{TO} = \frac{T_{TO}}{T_p + T_{TO} + T_{рем}}$$

Вони характеризують складові не виробничого простою апаратури по технічним причинам. Очевидно, чим менше ці коефіцієнти, тим краще організована технічна експлуатація, тому що $K_{T.B.} = 1 - (K_{рем} + K_{TO})$.

Коефіцієнт справності. Коефіцієнт готовності, який визначається відношенням загального часу роботи до сумарного часу роботи і відновлення, характеризує готовність апаратури до роботи в ідеальних умовах експлуатації, коли відновлення працездатності починається відразу після появи відмови і для початку роботи по відновленню все необхідне підготовлено завчасно. Подібні умови створюються при випробуваннях апаратури на надійність і при експлуатації апаратури в стаціонарних умовах на великих вузлах зв'язку, де звичайно маються необхідні вимірювальні прилади, інструмент, запасні блоки і елементи для заміни тих що відмовили, а технічний персонал має досить високу кваліфікацію і може негайно зайнятися усуненням відмови.

У польових умовах у випадку відмови апаратури далеко не завжди можна буде відразу приступити до відновлення. Час, необхідний на виробництво поточного ремонту $T_{рем}$, крім часу, затрачуваного безпосередньо на відновлення, буде включати час на підготовку, а іноді і доставку вимірювальних приладів $T_{вим.}$, інструмента $T_{інстр.}$, запасних елементів $T_{зап.}$, а також час на очікування майстра-ремонтника $T_{очік.}$. Отже, обов'язково будуть мати місце організаційні втрати часу $T_{орг.}$.

Загальний час простою апаратури на поточному ремонті протягом якогось періоду експлуатації можна представити у вигляді суми

$$T_{рем} = T_{в} + T_{орг},$$

де $T_{орг} = T_{вим} + T_{інстр} + T_{зап} + T_{очік}$.

У зв'язку з цим для обліку реальних умов експлуатації представляється доцільним увести більш загальний, чим коефіцієнт готовності, показник, котрий можна назвати коефіцієнтом справності

$$K_c = \frac{T_p}{T_p + T_{рем}}.$$

Коефіцієнт справності є аналогом коефіцієнта готовності в тім змісті, що визначає імовірність нормального функціонування апаратури в довільний момент часу її роботи, але з урахуванням організаційних утрат часу при відновленні працездатності після відмовлень.

Якщо поставлено на роботу деяке число однотипних комплектів апаратури, то величина K_c показує, яка частина з них у середньому в будь-який момент часу буде знаходитися в справному стані. У цьому випадку

$$K_c = \frac{N_c}{N},$$

де N – загальне число комплектів апаратури; N_c – число справних комплектів.

1.3. Напрямки підвищення показників надійності

Фактори, що впливають на надійність ЗСЗ, приведено на рис. 1.4.

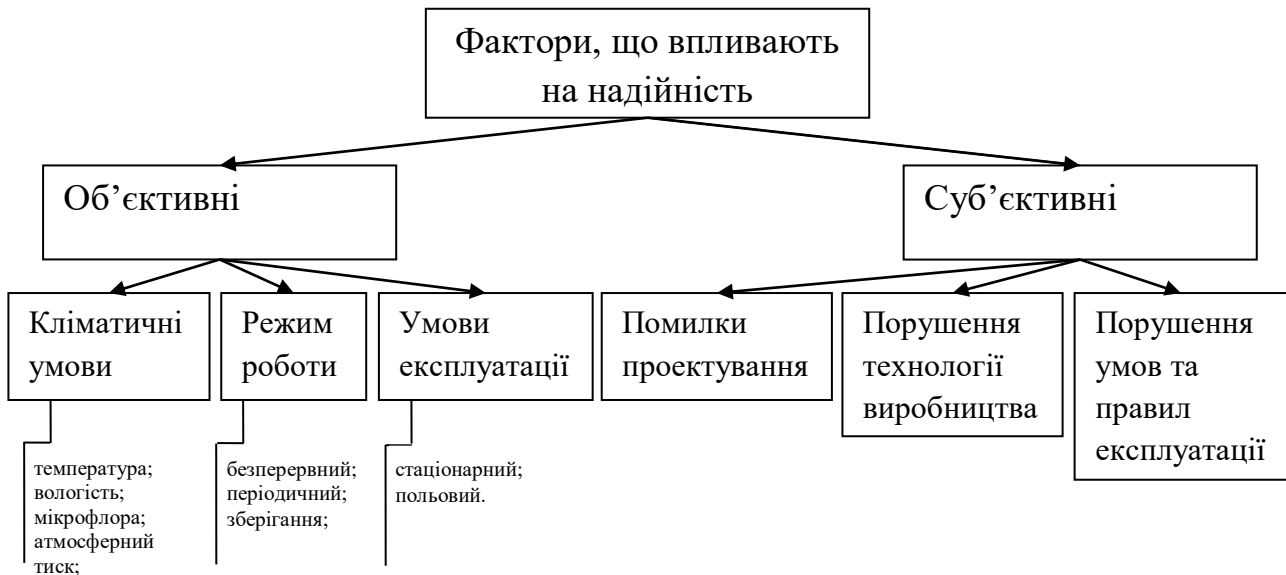


Рисунок 1.4 – Фактори, що впливають на надійність засобів спеціального зв'язку

Методи забезпечення надійності відновлюваних об'єктів:

1. Розробка ремонтних виробів;
2. Модульна конструкція виробу;
3. Повна взаємозамінність однотипних модулів;
4. Створення сприятливих умов для ремонту ;
5. Автоматизований пошук несправностей ;
6. Резервування – метод підвищення надійності шляхом використання взаємозамінних елементів при розробці системи, або в процесі її експлуатації.

Методи забезпечення надійності найважливіших об'єктів

1. Використання надлишковості – додаткових засобів або можливостей здійснення необхідних для виконання об'єктом заданих функцій.

Види надлишковості:

Часова – за рахунок швидкого здійснення операцій можливе їх повторення.

Інформаційна – використання методів кодування для визначення й нейтралізації помилок.

Структурна – наявність в системі надлишкових компонентів на випадок відмови основного обладнання.

Конструктивна – підрозділ виробу на окремі конструктивні модулі, блоки або типові елементи заміни (ТЕЗ).

Використання надлишковості суттєво знижує час відновлення ЗСЗ.

2. Класифікація і аналіз видів резервування Основні визначення:

Поелементне резервування – резервування окремих елементів (рис. 1.5).

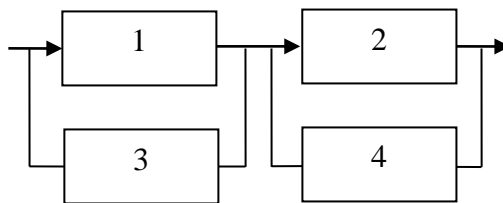


Рисунок 1.5 – Поелементне резервування

$$A = A_{13} \times A_{24} = [1 - (1 - A_1)(1 - A_3)][1 - (1 - A_2)(1 - A_4)]$$

$$A_i = 0,9 \div A = (1 - 0,1 \times 0,1)(1 - 0,1 \times 0,1) = 0,99 \times 0,99 = 0,9801$$

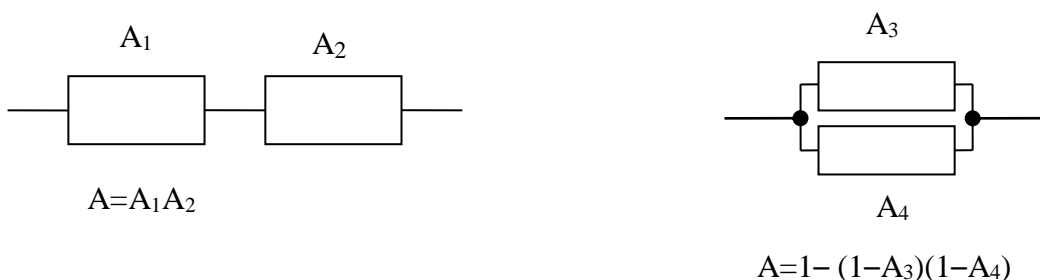


Рисунок 1.6 – Оцінка надійності з'єднання елементів

Загальне резервування – резервування всього пристрою повністю (рис. 1.7.)

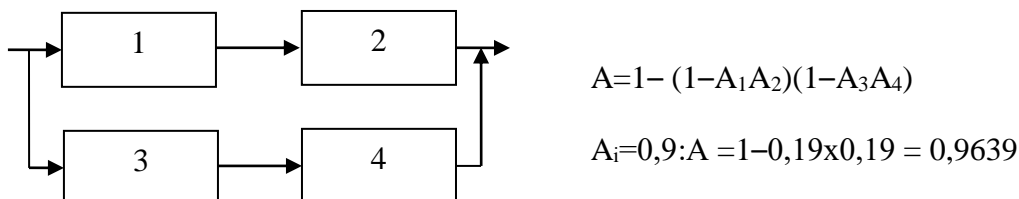


Рисунок 1.7 – Загальне резервування

Постійне резервування – здійснення резерву протягом всього часу функціонування (рис. 1.8).

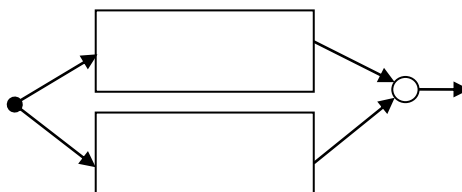


Рисунок 1.8 – Постійне резервування

Навантажене резервування – підключене електроживлення;

Полегшене резервування – підключена частина електроживлення;

Ненавантажений резерв – відключене електроживлення;

Мажоритарне резервування – на всі елементи подаються однакові вхідні сигнали, значення вихідних сигналів, що відрізняються, виключаються.

Класифікація методів резервування (рис. 1.9).

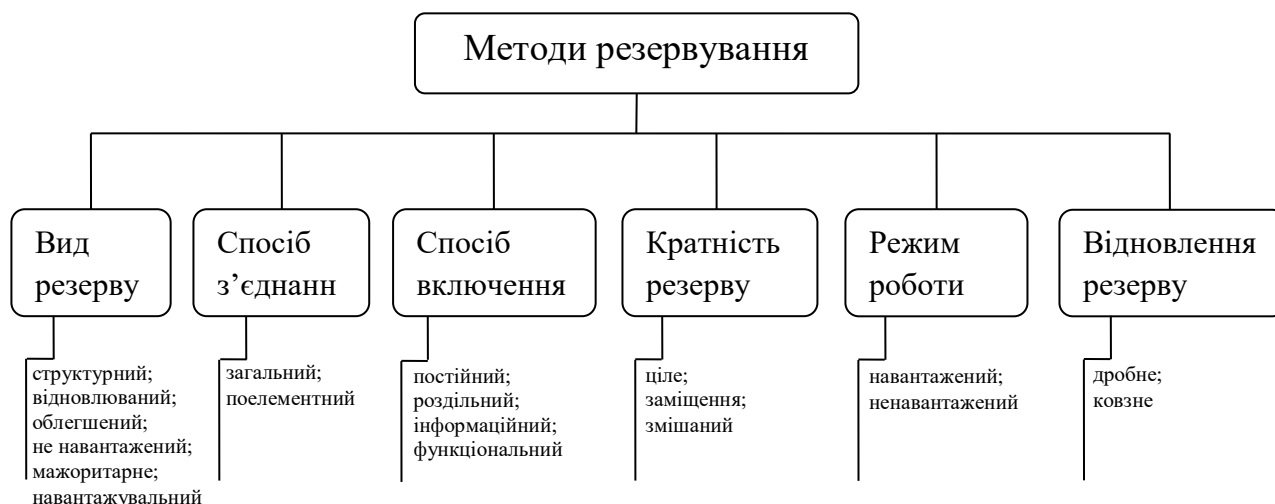


Рисунок 1.9 – Класифікація методів резервування

Кратність – відношення кількості резервних елементів до тих, що резервуються.

Багатократне резервування

Кількість резервних елементів визначається необхідною надійністю об'єкта. (рис. 1.10).

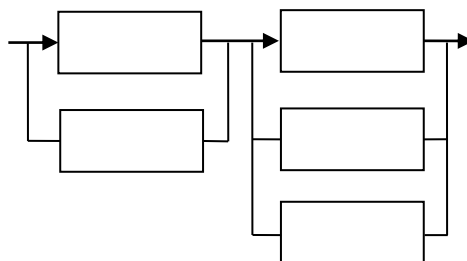


Рисунок 1.10 – Приклад багатократного резервування

Ковзне резервування

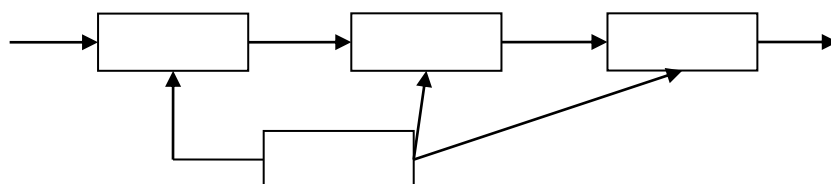


Рисунок 1.11 – Ковзне резервування

Умова: однотипність елементів.

Резервування – найбільш загальний метод підвищення надійності складних технічних об'єктів і систем.

Недоліки:

- 1) Збільшення вартості;
- 2) Збільшення масогабаритних параметрів.

Переваги:

Поліпшення надійності.

Таким чином, в підрозділі показано, що надійність засобів зв'язку являється комплексною властивістю, оцінка якої може проводитись по показникам безвідмовності, ремонтпридатності, збереженості і довговічності або по узагальненим показникам, що враховують визначені сполучення цих властивостей. Треба мати на увазі, що існують ДСТУ, які визначають номенклатуру кількісних показників надійності (КПН), що треба вибрати для об'єктів того чи іншого призначення. І, зрозуміло, форма завдання числових значень КПН повинна бути обміркована та дозволяла отримувати потрібні рішення по забезпеченню надійності.

1.4. Орієнтовний розрахунок надійності засобів спеціального зв'язку

До орієнтовного розрахунку надійності прибігають при розробці тактико-технічних вимог на знову проєктовану апаратуру, а також на етапі ескізного проєктування нової апаратури. Вихідні дані для розрахунків в обох випадках цілком обмежені. В кращому випадку можуть бути відомі типи елементів, які необхідно використовувати в апаратурі, і приблизна кількість елементів кожного типу.

Останнє встановлюється на підставі розгляду аналогічної за призначенням і принципами побудови апаратури, що знаходиться в експлуатації, або визначеного варіанту функціональної блок-схеми апаратури при її проєктуванні.

Орієнтовні розрахунки також можуть застосовуватись для грубої оцінки невідомих показників надійності апаратури, яка експлуатується.

При орієнтовному розрахунку припускають наступне:

- Відмови елементів являються незалежними.
- Відмова хоча б одного елемента тягне за собою відмову апаратури.
- Інтенсивність відмов елементів від часу не залежить, тобто $\lambda_i = \text{const}$.
- Елементи працюють в типових (номінальних) режимах.
- Однотипні елементи являються рівнонадійними.

Друга умова практично означає, що в апаратурі резервування не застосовується, а елементи, які виконують допоміжні функції, з розрахунків повинні бути виключені. Другими словами, при орієнтовному розрахунку припускається, що всі елементи апаратури з'єднані послідовно, при цьому як повна, так і часткова відмова будь-якого елемента призводить до відмови апаратури.

Враховуючи всі припущення, приступають до проведення орієнтовного розрахунку надійності. Порядок розрахунку наступний (рис. 1.12.):

1. По функціональній схемі визначають кількість (v) вузлів (блоків) в проєктованій апаратурі.

2. Для кожного функціонального блоку підраховують кількість груп r_i і кількість елементів в кожній групі N_j ; $i = \overline{1, v}$

3. По довіднику «Надежность изделий электронной техники. Единый

справочник» або «Бюллетень показателів надійності» визначають інтенсивність кожної j -ої групи елементів. При цьому враховується, що реально в групу однотипних елементів будуть входити зразки, які відрізняються за номіналами потужності розсіювання або робочій напрузі, а в ряді випадків і по деяким конструктивним ознакам.

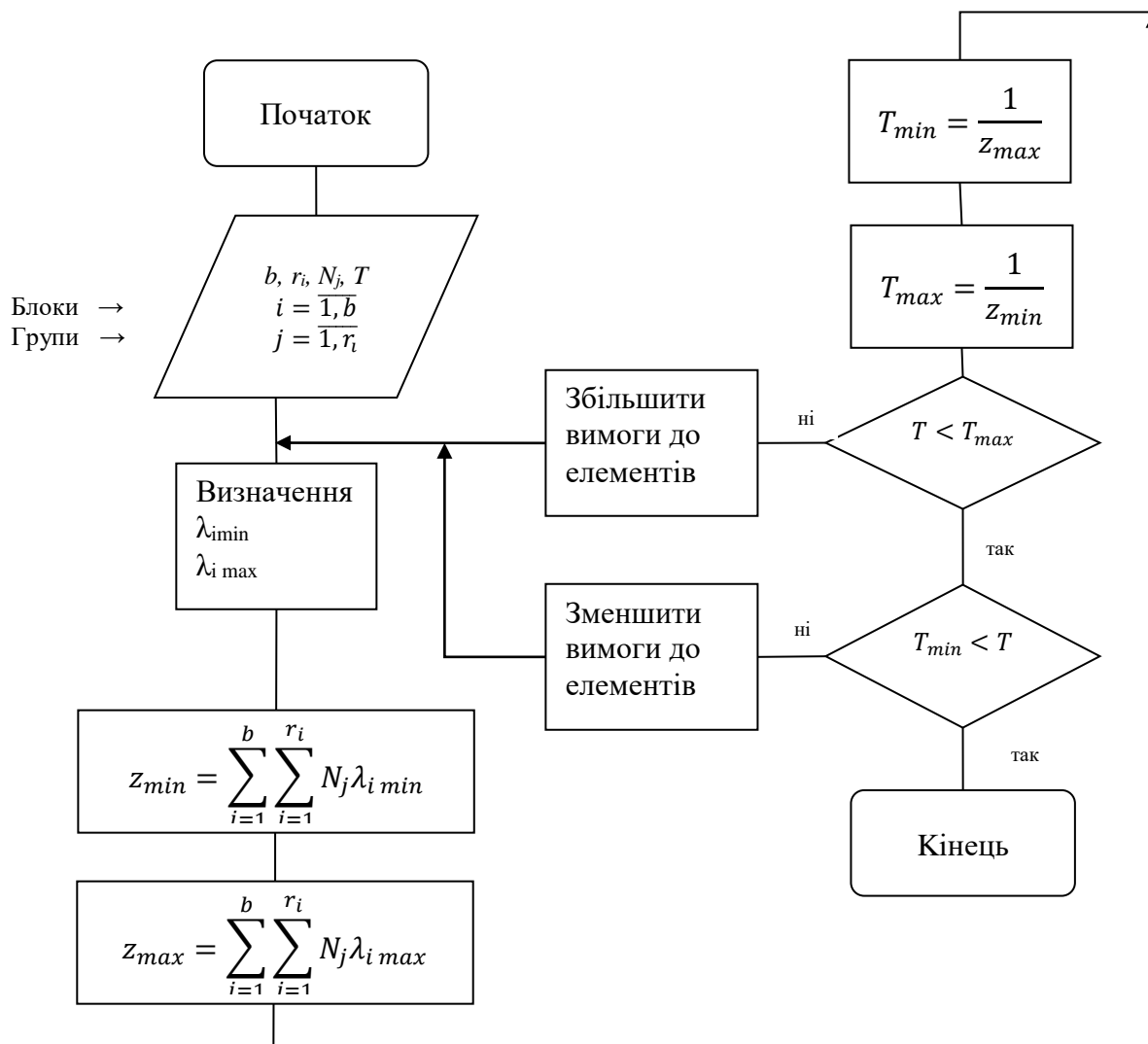


Рисунок 1.12 – Алгоритм орієнтовного розрахунку надійності

Тому інтенсивність відмов елементів λ_j визначається або шляхом задання можливих мінімальних і максимальних значень, або шляхом опосередкування всіх величин, які маються в довіднику і відносяться до елементів даної групи $\lambda_{j \text{ гр. min}}, \lambda_{j \text{ гр. max}}$.

4. Визначаються значення інтенсивності відмов або параметра потоку для всієї апаратури z_{min} і z_{max} , де N_j – кількість функціональних елементів в даній j -ій групі; r – кількість груп функціональних елементів.

5. Розраховується значення середнього наробітку на відмову апаратури T_{min} і T_{max} .

6. Проводиться аналіз і порівняння результатів із заданими (які вимагаються) значеннями T (рис. 1.13):

Якщо $T_{min} > T$, то розроблена схема прийнятна і може бути прийнята за

основу розробки.

Якщо $T_{max} < T$, то запропонована схема не задовольняє вимогам, що пред'являються. В цьому випадку необхідно шукати нове схемне рішення (переробка функціональної схеми, скорочення кількості функціональних вузлів і блоків, створення полегшеного режиму функціонування для елементів, що мають найбільше значення інтенсивності відмови λ і т.п.).

Якщо $T_{min} < T < T_{max}$, то запропонована схема може забезпечити показники по надійності, які вимагаються.

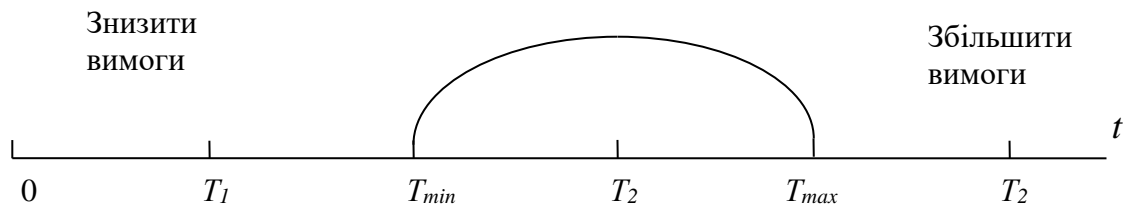


Рисунок 1.13 – Оцінка результатів розрахунку

Приклад використання розрахунку надійності ЗСЗ

Радіостанція тактичної ланки керування.

$r = 23$; $T_e = 1$ год.; $1659 = \sum_{j=1}^r N_j$; $A = 0,9991$; $T \geq 1000$ год.;

$0,01 \cdot 10^{-5} \leq \lambda_{max} \leq 19,3 \cdot 10^{-5}$;

$0,01 \cdot 10^{-5} \leq \lambda_{min} \leq 8,0 \cdot 10^{-5}$;

$z_{max} = 202,53 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹;

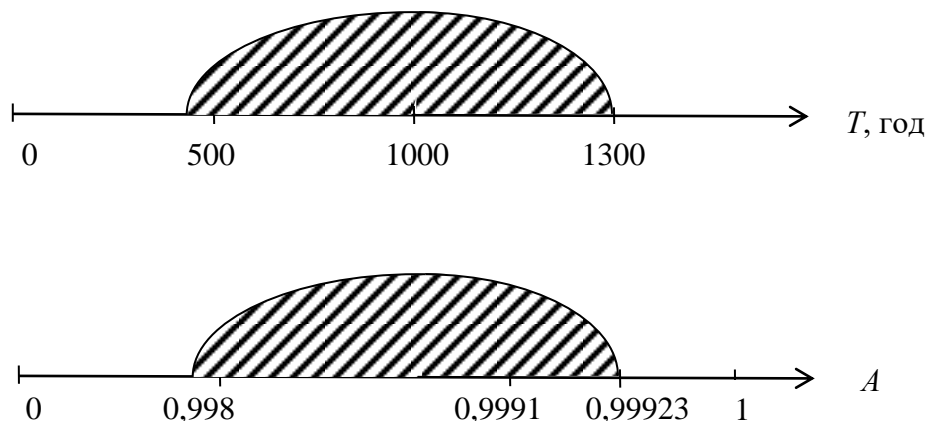
$z_{min} = 79,14 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹;

$T_{max} = 1263$ год ≈ 1300 год;

$T_{min} = 494$ год ≈ 500 год;

$A_{max} = 0,998$;

$A_{min} = 0,99923$;



Результати розрахунків відповідають завданню. Надалі досліджують

залежність ймовірності безвідмовної роботи радіостанції від часу (рис. 1.14).

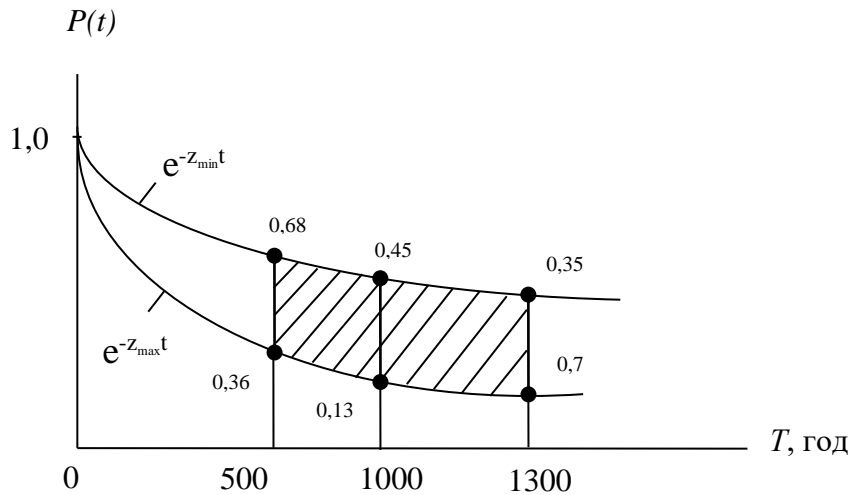


Рисунок 1.14 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу

Показники безвідмовності ЗСЗ змінюються відповідно до кількості елементів, які входять до складу виробу. Ця методика застосовується тоді, коли всі елементи об'єкта мають приблизно однакову надійність, працюють в постійних умовах однаково довго. Але, наприклад, в радіостанції час роботи прийомної частини набагато більше, ніж передавальної. Тому результати розрахунку дають занижене значення наробітку на відмову і для забезпечення відповідності завданню необхідно використовувати більш надійні елементи, що збільшує вартість виробу.

Для врахування цієї обставини використовують додаткові коефіцієнти, але це можливе тільки при оцінці надійності виробів на однотипній елементній базі при наявності статистичних даних щодо експлуатаційної надійності перспективних зразків ЗСЗ. Тому виникає необхідність дослідження впливу властивості багатьох режимних об'єктів на показники їх надійності для створення практичної методики оцінки реальних значень наробітку на відмову перспективних зразків ЗСЗ під час їх проектування.

1.5. Прогнозування надійності об'єктів зі змінною структурою

У підрозділі розглянуто теоретико-множинні моделі об'єктів які дозволяють кількісно оцінити потужність підмножин елементів, що використовують в різних режимах роботи з метою оцінки показників надійності військової техніки зв'язку в залежності від структури об'єкта і порядку зміни режимів роботи. За допомогою математичного апарату теорії множин доведено, що надійність техніки зв'язку буде максимальною при мінімальній потужності елементів які використовуються під час роботи і навпаки.

Отримані результати застосовано для оцінки показників надійності радіостанції, яка працює в режимах прийому або передачі.

Проаналізовано надійність радіоелектронних засобів, які відрізняються

багатофункціональністю та багаторежимністю, тобто змінюють структуру під час використання за призначенням, із застосування математичного апарату теорії множин. Це дозволяє в подальшому оцінити значення показників надійності (наробітку на відмову та середнього часу відновлення) залежно від порядку взаємодії підмножин елементів та їх потужності.

На сьогодні представлено велику кількість принципів, методів, методик та засобів виявлення і пошуку несправностей радіоелементів, під час їх виготовлення та експлуатації, що становить основу прогнозування надійності ЗСЗ під час виробництва. Підвищення надійності ЗСЗ на всіх етапах життєвого циклу забезпечується покращенням показників, таких як коефіцієнт готовності, час відновлення працездатного стану, а також ресурс або термін служби та наробіток на відмову.

Підрозділ присвячено обґрунтуванню важливості і актуальності рішення задачі, розробки методології отримання, обробки та управління діагностичною інформацією на основі використання теорії множин з метою оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою.

В сучасних публікаціях з теорії надійності складних технічних об'єктів відмічається, що є необхідність наукового аналізу технічних структур, конфігурація яких змінюється під час використання цих об'єктів за призначенням. Показано, що в даний час відсутні не тільки практичні, але і теоретичні методи розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватись випадковим чином або в заданій послідовності через визначений інтервал часу. Причому, зміна структури завжди відбувається в залежності від зміни функцій, які виконує система.

Встановлено особливості розрахунку надійності з врахуванням часу зберігання та використання за призначенням, причому інтенсивність відмов елементів під час зберігання в порівнянні з роботою зменшується в 10...100 разів. В відомих роботах основна увага приділяється дослідженню надійності об'єктів з резервуванням. Окремо розглянуто вплив зміни структури об'єктів на ефективність їх діагностування.

Мета підрозділу – обґрунтування можливості використання теорії множин для оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою.

Розширення умов експлуатації, підвищення відповідальності виконуваних ЗСЗ функцій, їх ускладнення приводить до підвищення вимог до надійності виробів. Тому найбільш важливим у забезпеченні надійності ЗСЗ є підвищення їх безвідмовності.

Особливістю проблеми надійності є її зв'язок з усіма етапами “життєвого циклу” від виготовлення до списання. Під час розрахунку та проектуванні ЗСЗ, їх надійність закладається в проект, при виготовленні – забезпечується, а при експлуатації – реалізується. Тому проблема надійності – це комплексна проблема і вирішувати її необхідно на всіх етапах і різними засобами. На етапі проектування техніки зв'язку визначається її структура, проводиться вибір або

розробка елементної бази, що надасть можливість забезпечити необхідний рівень надійності ЗСЗ. Вирішується це завдання за допомогою розрахунку значень показників надійності (в першу чергу – безвідмовності), залежно від структури об'єкту і характеристик його складових частин, з подальшою корекцією при необхідності.

При аналізі надійності складних систем їх розбивають на елементи (компоненти) з метою оцінки окремих елементів та в подальшому усїєї системи.

Під елементом, точніше кажучи, елементом розрахунку надійності, розуміють складову частину складної системи, яка може характеризуватися самостійними вхідними і вихідними параметрами. При дослідженні надійності системи її елементи не розділяються на складові частини, а показники безвідмовності і довговічності відносяться до елемента в цілому. При цьому можливе відновлення працездатності елемента незалежно від інших частин і елементів системи. Це реалізація принципу агрегування.

Аналіз надійності складних систем має специфічні особливості. Різні відмови, а також зниження працездатності елементів системи по-різному впливають на надійність усїєї системи. Тому з точки зору надійності розгляду та аналізу підлягають лише елементи, відмова яких призводить до відмови системи. Ці елементи і підсистеми виявляються при розгляді структурної надійності.

Структурною надійністю системи (пристрою) називається результуюча надійність системи (пристрою) при заданій її структурі і відомих значеннях надійності всїх вхідних в неї частин (блоків, вузлів, компонентів і т.д., тобто конструктивів).

Моделі надійності встановлюють зв'язок між підсистемами (або елементами системи) та їх впливом на роботу усїєї системи.

Дослідження структури дозволяє виявити вузькі місця в конструкції системи з погляду її надійності, а на етапі проектування – розробити конструктивні заходи щодо усунення подібних вузьких місць. Наприклад, можна заздалегідь підрахувати, скільки резервних елементів необхідно для забезпечення заданого рівня надійності системи. Далі можна розрахувати надійність системи, побудованої з елементів з відомою надійністю, або навпаки, виходячи з вимог до надійності системи, пред'явити вимоги до надійності елементів.

До засобів ЗСЗ ставлять підвищені вимоги щодо їх надійності. Вони відрізняються властивостями багатофункціональності, багаторежимності і наявністю кількох інформаційних виходів, тобто відносяться до об'єктів зі змінною структурою (рис. 1.15), надійність яких залежить від їх надлишковості і часу роботи в окремих режимах.

Багатофункціональність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності задовольнити різні потреби користувача.



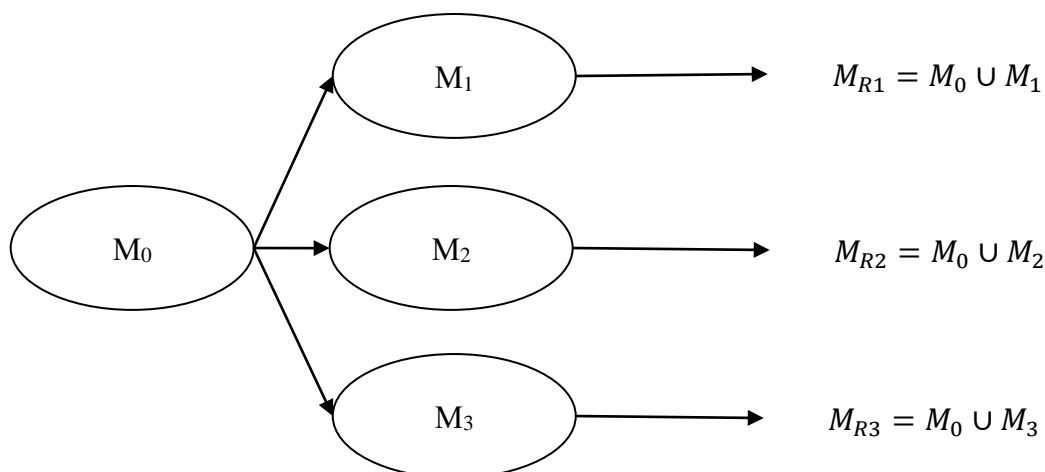
Рисунок 1.15 – Класифікація об'єктів зі змінною структурою

Багаторежимність – властивість об'єкту, яка полягає в здатності виконання покладених на нього функцій за рахунок використання різних сукупностей функціональних елементів, або зміни їх властивостей.

Надлишковість – додаткові засоби й можливості більш ніж необхідні для виконання об'єктом заданих функцій. Розрізняють конструктивну, часову, інформаційну, структурну і функціональну види надлишковості, що присутні в ЗСЗ різного призначення.

Раніше було розглянуто різноманітні структури об'єктів з точки зору їх відновлення, а не оцінки надійності, з використанням математичного апарату теорії множин. Аналіз теоретико-множинних моделей об'єктів показує, що їх надійність максимальна при мінімальній потужності елементів, що використовують під час роботи, і навпаки.

Якщо багаторежимний об'єкт має ядро (наприклад, підсистема електроживлення), то можливі варіанти без перетину або з перетином підмножин елементів в R_i режиму роботи (рис. 1.16), що відповідає, наприклад, радіопередавачу і радіоприймачу радіостанції при різноманітних режимах роботи.



Багаторежимний об'єкт без перетину підмножин елементів

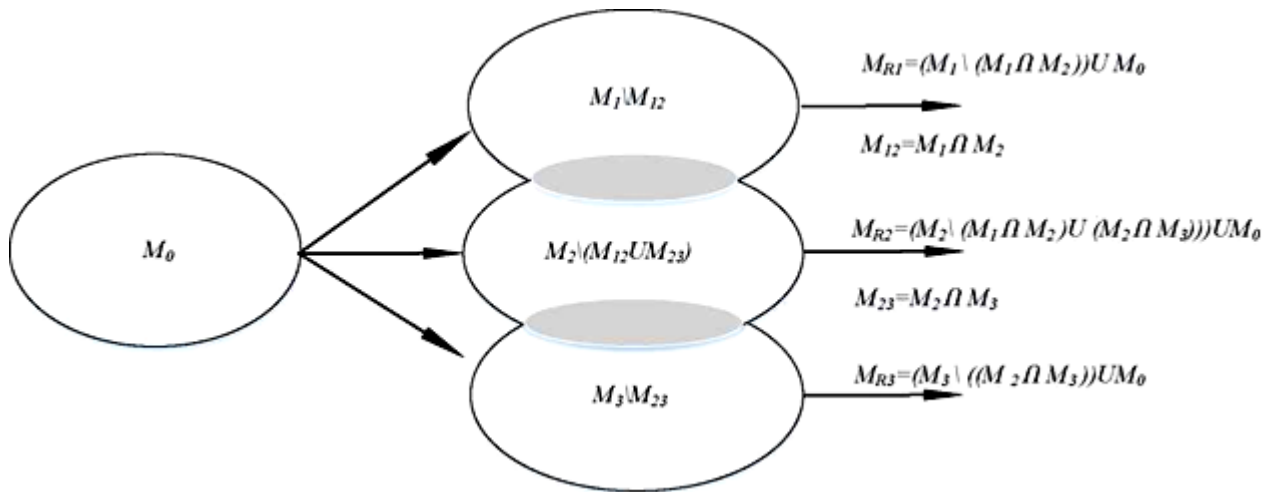


Рисунок 1.16 – Теоретико-множинні моделі багаторежимних об’єктів з ядром і довільної зміною режимів роботи

При послідовній зміні режимів потужність надмножини елементів поступово збільшується, при цьому надійність виробу зменшується (рис. 1.17). Це має місце, наприклад, в підсистемах управління функціонуванням радіопередавачів великої потужності.

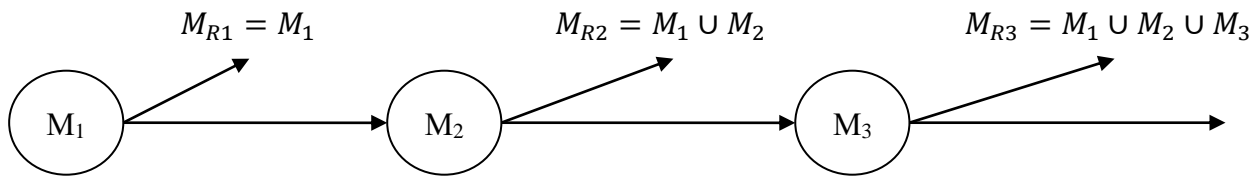
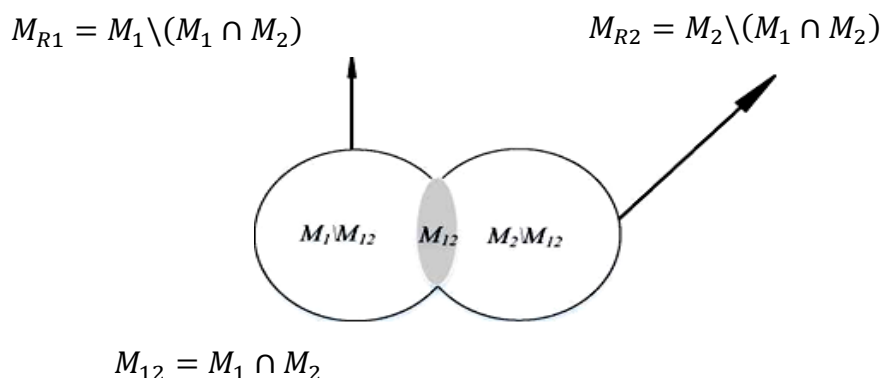


Рисунок 1.17 – Теоретико-множинна модель об’єкту з послідовною зміною режимів

При цьому послідовно включається ввід, охолодження, зміщення і висока напруга. В кожному режимі використовують всі елементи, підключені раніше. Таким чином, їх загальна кількість поступово збільшується. При знаходженні радіопередавача в гарячому резерві на випадок передачі найважливіших повідомлень висока напруга включається дистанційно.

Тобто, елементи підсистеми працюють різний час, що при традиційній оцінці надійності не враховують.

Розглянемо без’ядерну теоретико-множинну модель об’єктів з довільними змінами режимів роботи (рис. 1.18):



$$M'_1 = M_1 \setminus (M_1 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i;$$

$$M'_2 = M_2 \setminus (M_1 \cap M_2) \cup (M_3 \cap M_2) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i;$$

$$M'_3 = M_3 \setminus (M_2 \cap M_3) \cup (M_1 \cap M_3) \setminus \bigcap_{i=1}^3 M_i;$$

$$M_{R1} = M'_1 \cup M_4 \cup M_5 \cup M_7 = M_1$$

$$M_{R2} = M'_2 \cup M_4 \cup M_6 \cup M_7 = M_2$$

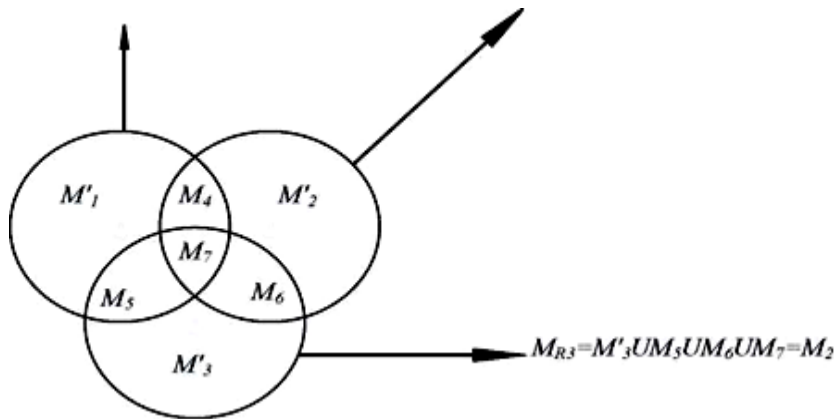


Рисунок 1.18 – Теоретико-множинна модель об’єкту без ядер з довільною зміною режимів роботи

Якщо в цих випадках також використовують послідовні зміни режимів роботи об’єкту, то отримаємо теоретико-множинну модель виду рис. 1.19.

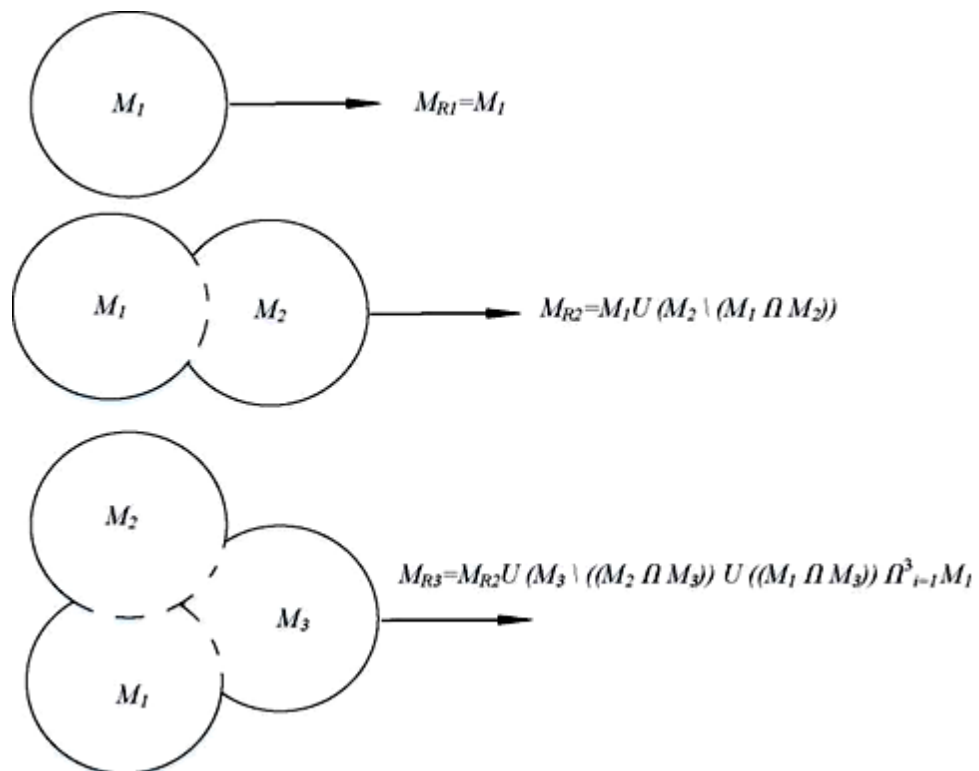


Рисунок 1.19 – Теоретико-множинна модель об’єкту без ядер з послідовною зміною режимів роботи

За допомогою розглянутих теоретико-множинних моделей об’єктів оцінюємо кількісну потужність підмножин елементів, що використовуються в різних режимах роботи, з метою подальшої оцінки показників надійності в

залежності від структури об'єкта і порядку зміни режимів роботи. Застосуємо отримані результати для оцінки показників надійності радіостанції, яка працює в режимах прийому або передачі, а в якості ядра використовують блок електроживлення, генератор сигналів і антену. Порядок зміни режимів довільний, але відомо, що час роботи в режимі “прийом” (T_{p2}) набагато більше, ніж в режимі “передача” (T_{p3}) (рис. 1.20).

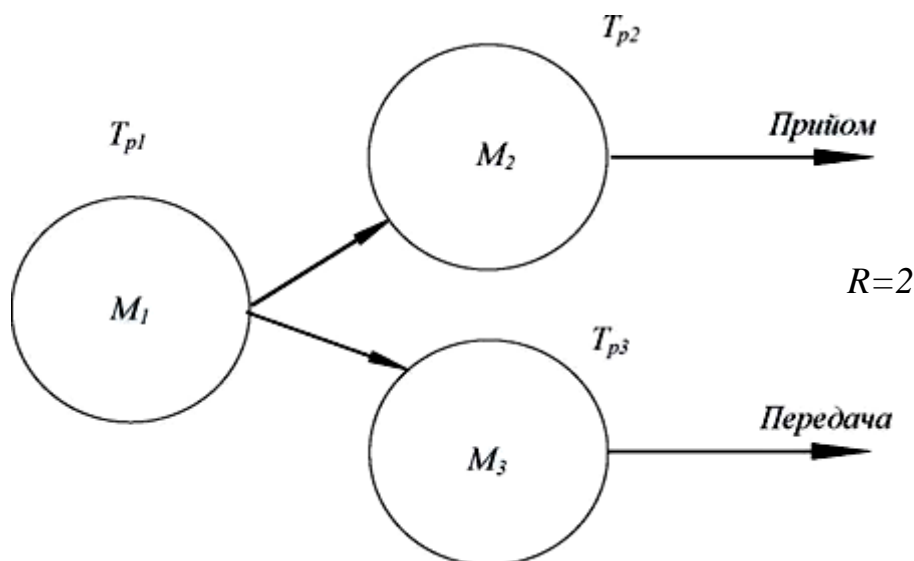


Рисунок 1.20 – Теоретико-множинна модель радіостанції

За відомими методиками виходячи із потужності підмножин елементів отримано параметр потоку відмов Z_i ($i = 1,3$), а із технічних характеристик радіостанції відомо, що час роботи у кожному режимі, при $T_{p1} = T_{p2} + T_{p3}$. В такому разі коефіцієнт використання кожної підмножини елементів дорівнює:

$$U_1 = \frac{T_{p1}}{T_{p2} + T_{p3}} U_2 = \frac{T_{p2}}{T_{p2} + T_{p3}} U_3 = \frac{T_{p3}}{T_{p2} + T_{p3}}$$

Наробіток на відмову елементів кожної підмножини визначається параметром потоку відмов, що дозволяє оцінити загальну кількість відмов виробу і його наробіток на відмову в цілому, в залежності від значення коефіцієнту використання кожних підмножин елементів. Діагностування радіостанцій доцільно виконувати в порядку зменшення потужностей підмножин елементів з використанням умовних алгоритмів пошуку дефектів.

Після визначення наробітку на відмову T і середнього часу відновлення T_e можливо кількісно оцінити значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності: $A = T / (T + T_e)$. Тобто, використання теоретико-множинної моделі надійності ЗСЗ дозволяє аналізувати її структуру в можливих режимах роботи і в подальшому кількісно оцінювати значення показників надійності.

Врахування властивості багаторежимності ЗСЗ з впровадженням теоретико-множинної моделі її структури дозволяє точніше кількісно оцінити значення показників надійності.

Отримані результати доцільно використовувати під час розробки математичної моделі і методів оцінки надійності багаторежимних засобів та систем спеціального зв'язку зі змінною структурою.

Подальші дослідження слід направляти на формалізацію процесу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

1.6. Оцінка надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою

У підрозділі вперше запропонований підхід до підвищення точності кількісної оцінки показників надійності радіоелектронних засобів (РЕЗ) зі змінною структурою, які працюють в різноманітних режимах роботи з використанням окремих сукупностей елементів в кожному з них. У відомих роботах цю обставину не враховують і показники надійності виробу оцінюють в припущенні, що всі елементи працюють одночасно, що веде до зниження розрахункового значення наробітку на відмову. Завдання вирішується впровадженням коефіцієнту використання кожного конструктивного елементу виробу в усіх можливих режимах роботи. Приведено приклад використання отриманих результатів для кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимного об'єкту і показано ефект від уточнення розрахунків.

Надійність РЕЗ, що є основою ЗСЗ, кількісно оцінюють показниками, головними з яких є наробіток виробу на відмову і середній час його відновлення. Вони визначають комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності. Зниження розрахункового значення наробітку на відмову вимагає для забезпечення його потрібного значення використання більш надійної елементної бази, що веде до збільшення вартості виробу в цілому.

В підрозділі вперше отримана математична модель оцінки показників надійності, що враховує час роботи виробу в кожному із можливих режимів, а під час розрахунку показника ремонтпридатності враховано метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки, які використовують в процесі діагностування при поточному ремонті.

Запропоновану модель оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою доцільно використовувати на етапі проектування сучасних радіоелектронних засобів. Ефект від її впровадження заключається в забезпеченні заданих значень показників надійності багаторежимних радіоелектронних засобів при їх мінімальній вартості.

РЕЗ різноманітного призначення безперервно розвиваються і удосконалюються в напрямку покращення показників якості відповідно до вимог споживачів за рахунок впровадження нових схемних і конструктивних рішень, а також використання сучасної елементності бази. Це викликає відповідне ускладнення виробів, яке не веде до покращення значень показників

їх надійності. Тому питання забезпечення необхідного рівня надійності сучасних РЕЗ дуже важливе як для виробників, так і для споживачів.

Відомі методи забезпечення необхідних значень показників надійності РЕЗ за рахунок резервування найменш надійних конструктивних одиниць, що збільшує їх вартість та масогабаритні показники, а також обсяг ЗПІ для реалізації поточного ремонту агрегатним методом. Також досліджуються напрямки автоматизації розрахунків показників надійності РЕЗ та їх зміни з часом.

Перспективним напрямком розвитку РЕЗ в галузі зв'язку є впровадження програмно-керованих засобів, якість програмного забезпечення яких також впливає на надійність окремих виробів і систем зв'язку в цілому.

На значення комплексного показника надійності РЕЗ – їх коефіцієнту готовності – суттєво впливає не тільки наробіток на відмову, а і середній час відновлення, тому в спеціальній технічній літературі, науково-дослідних і дисертаційних роботах приділяється увага підвищенню якості діагностичного забезпечення ремонту. Але під час кількісної оцінки значень показників надійності РЕЗ, які визначаються завданнями на проектування, не враховують властивість багато-режимності, що веде до зміни структури об'єктів під час їх використання за призначенням.

У даний час відсутні не тільки інженерні методи, але й теоретичні розробки аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, яка обумовлена її багатофункціональністю та багато-режимністю, коли в окремих режимах роботи використовують відповідні сукупності елементів. Властивості багато-режимності використовують під час розробки діагностичного забезпечення, але при оцінці надійності традиційно вважають, що всі елементи об'єкту працюють одночасно, що суттєво занижує значення наробітку на відмову.

В дійсний час в сучасних вітчизняних і зарубіжних публікаціях з актуальних питань надійності складних технічних об'єктів і систем розглянуто окремі напрями підвищення значень показників їх надійності. Але в цих виданнях зовсім не розглядаються питання комплексного врахування надійності окремих складових програмно-керованих багато режимних засобів зв'язку зі змінною структурою під час оцінки їх показників як в процесі проектування, так і уточнення при дослідній експлуатації.

Необхідним є розгляд питання підвищення точності кількісної оцінки показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою за рахунок використання нової моделі, яка враховує час роботи окремих елементів об'єкта в різноманітних режимах роботи та підвищує точність розрахунків з урахуванням особливостей побудови і використання за призначенням цих об'єктів.

Завданням на розробку нормуються значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення існуючих, тих, що модернізуються та

перспективних зразків багаторежимних РЕЗ. Тому під час проектування обов'язково виконують розрахунок надійності з кількісною оцінкою всіх показників надійності, які потім перевіряють під час дослідної експлуатації.

Засоби зв'язку відносяться до класу об'єктів зі змінною структурою, які можуть бути одно і багатофункціональними, багато режимними з фіксованою або довільною зміною режимів роботи.

Наприклад, радіостанція працює в режимі “прийом” або “передача”, причому порядок зміни режимів роботи не фіксований. Система управління функціонуванням радіопередавача великої потужності послідовно в фіксованому порядку змінює кількість елементів в міру включення (ввід, охолодження, накалювання, зміщення, висока напруга).

Для моделювання цих об'єктів використовують відомий математичний апарат теорії множин, але тільки під час розробки діагностичного забезпечення. Теоретико-множинні моделі дозволяють оцінити потужності множин елементів, які використовують в окремих режимах роботи, а також їх взаємозв'язок.

Наприклад, при фіксованій зміні режимів доцільно застосувати модель типу “гірлянда”, коли з кожним кроком кількість задіяних елементів об'єкту збільшується. Це веде до зниження напрацювання на відмову і збільшення середнього часу відновлення, що погіршує значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності об'єкту.

При довільній зміні режимів роботи радіоприймача або радіостанції доцільно використовувати теоретико-множинну модель із перетинами підмножин елементів, які мають ядро (наприклад, підсилювачі, електроживлення або генераторне обладнання). У цьому разі на надійність окремих підмножин елементів суттєво впливає час їх роботи в заданому режимі (наприклад, час роботи радіостанції в режимі “прийом” в рази більший ніж “передача”), тобто технічний ресурс елементів розходжується нерівномірно.

Для врахування цієї обставини пропонується застосовувати коефіцієнт використання за призначенням кожної підмножини елементів в можливих режимах роботи виробу, який розраховують як відношення часу роботи підмножини елементів до загального часу роботи виробу в усіх можливих режимах. Його значення можливо кількісно оцінити із аналізу використання засобів зв'язку, що відображено в апаратних журналах вузлів зв'язку.

Розглянемо порядок використання цих пропозицій на прикладі багаторежимного об'єкту, схема якого приведено на рис. 1.21. Об'єкт працює в трьох режимах, в кожному із яких використано п'ять із восьми загальної підмножини елементів. Це є теоретико-множинна модель з сильними перетинами підмножини елементів і ядром, що складають елементи 7 і 8, які використовують в усіх режимах роботи.

При традиційному орієнтовному розрахунку надійності сумують мінімальні і максимальні значення параметра потоку відмов окремих елементів

(Z_i) , після чого визначаються межі зміни і середнє значення наробітку на відмову

$$T = 1 / \sum_{i=1}^L Z_i.$$

При цьому реальний час роботи окремих елементів не враховується.

Якщо відоме значення параметру Z_{Ri} відмов окремих елементів виробу, то для кожного режиму роботи отримуємо:

$$Z_{R_1} = Z_1 + Z_4 + Z_5 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R_2} = Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R_3} = Z_3 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8.$$

В такому разі наробіток на відмову виробу в кожному режимі роботи дорівнює:

$$T_1 = \frac{1}{Z_{R_1}}; T_2 = \frac{1}{Z_{R_2}}; T_3 = \frac{1}{Z_{R_3}}.$$

При наявності додаткових даних щодо часу роботи виробу в окремих режимах (T_{pi}) можливо розрахувати значення відносного коефіцієнту використання кожного елементу відповідно:

$$u_1 = \frac{T_{p1}}{T_p}; u_2 = \frac{T_{p2}}{T_p}; u_3 = \frac{T_{p3}}{T_p};$$

$$u_4 = \frac{T_{p1} + T_{p2}}{T_p}; u_5 = \frac{T_{p1} + T_{p3}}{T_p}; u_6 = \frac{T_{p2} + T_{p3}}{T_p};$$

$$u_7 = 1; u_8 = 1; T_p = T_{p1} + T_{p2} + T_{p3};$$

де T_p – загальний час роботи виробу в усіх можливих режимах.

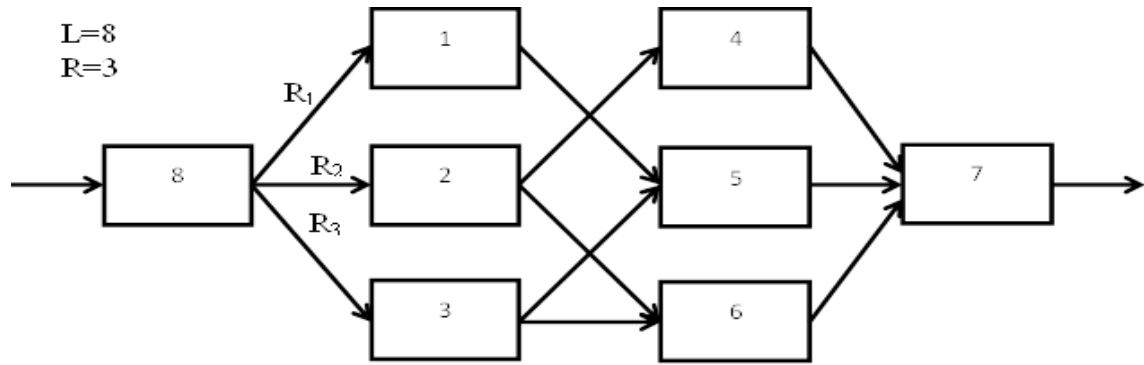
Це дозволяє з урахуванням конкретного часу роботи кожного елемента виробу кількісно оцінити прогнозуємо число їх відмов і виробу в цілому:

$$N = T_p \sum_{i=1}^8 u_i Z_i = \sum_{i=1}^8 Z_i T_{pi} = \sum_{i=1}^8 \frac{T_{pi}}{T_i}.$$

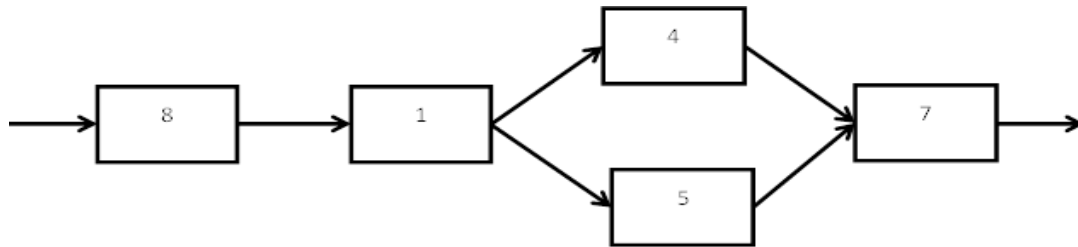
Тоді параметр потоку відмов виробу в цілому дорівнює

$$Z = \frac{N}{T_p} = \sum_{i=1}^8 u_i Z_i,$$

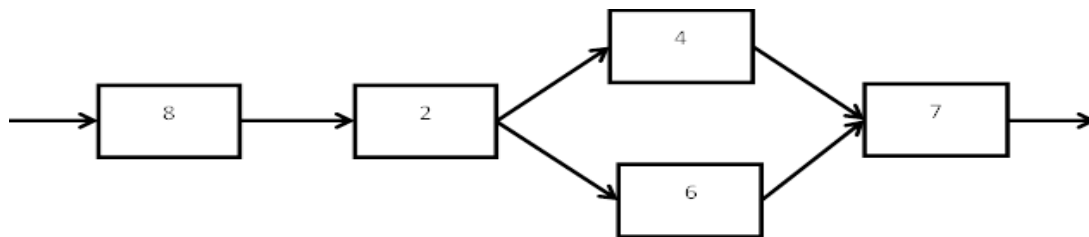
де $T_{pi}/T_i = N_i$ – наробіток на відмову окремих підмножин елементів, а наробіток на відмову з урахуванням часу роботи підмножин елементів в окремих режимах, відповідно $T = T_p/N$.



Режим R_1



Режим R_2



Режим R_3

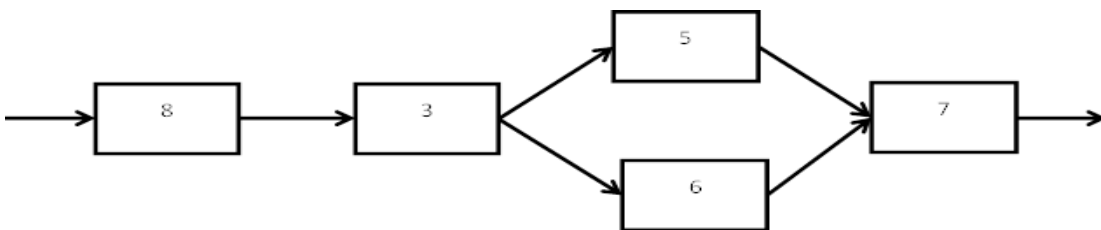


Рисунок 1.21 – Приклад багато режимного технічного об'єкту з ядром і сильним перетином підмножини елементів

Припустимо, що всі підмножини елементів в прикладі, який розглядається, рівно надійні ($Z_i = Z$) і в кожному режимі роботи виріб працює однаковий час ($T_{pi} = T_p/3$), тоді отримуємо:

$$U_1 = U_2 = U_3 = 1/3; U_4 = U_5 = U_6 = 2/3; U_7 = U_8 = 1.$$

Загальна кількість відмов виробу за час роботи T_p складає:

$$N = ZT_p \sum_{i=1}^8 U_i = 5ZT_p,$$

а наробіток виробу на відмову $T=1/5Z$.

За тих же умов при традиційному орієнтовному розрахунку надійності отримуємо $T' = 1/8Z$, тобто реальне значення наробітку на відмову виробу при врахуванні його властивості багато режимності збільшилось в $T/T' = 1,6$ рази, або на $[(T-T')/T']100\%=37,5\%$.

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багато режимності. Але, це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

В дійсний час при проектування нових або модернізації існуючих засобів РЕЗ і засобів спеціального зв'язку виконують орієнтовний і уточнений розрахунок показників надійності.

В першому випадку усі елементи виробу підрозділяють на групи (резистори, конденсатори, транзистори, діоди, мікросхеми та інші) з приблизно однаковим значенням інтенсивності відмов, причому розглядають як мінімальні, так і максимальні значення, що отримані з довідників. Потім перемножують кількість елементів кожної групи на граничні значення інтенсивності відмов і сумують результати. Таким чином отримують граничні значення параметру потоку відмов виробу і розраховують значення наробітку на відмову. Якщо необхідне значення попадає у ці межі, то виконують уточнений розрахунок надійності. Якщо ні, то потрібно змінити елементи на більш надійні і повторити розрахунок.

При уточненому розрахунку надійності використовують середні значення інтенсивності відмов кожного елемента з врахуванням коефіцієнта його електричного навантаження, а також кліматичних умов (температура, вологість, тиск) та механічного навантаження (вібрації, удари) залежно від умов подальшої експлуатації виробів.

В обох випадках не враховують час роботи елементів в окремих режимах (T_{pi}), що занижує реальне значення наробітку на відмову РЕЗ в цілому.

Наробіток на відмову РЕЗ в цілому (T) залежить від цього показника для окремих частин виробу, які використовують в різноманітних режимах роботи (T_i), який, в свою чергу, визначається параметром потоку відмов цієї підмножини елементів (Z_i)

$$T_i = 1/Z_i .$$

Властивість багато режимності РЕЗ враховується введенням коефіцієнту використання окремих сукупностей елементів залежно від відносного часу їх роботи (T_{pi}):

$$u_i = T_{pi}/T_p; i = \overline{1, n},$$

де n – кількість підмножин елементів РЕЗ, що використовують в різноманітних режимах; T_p – загальний час роботи РЕЗ.

В такому разі загальна кількість відмов виробу за час T_p складає

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{T_{pi}}{T_i} = T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i,$$

а параметр потоку відмов РЕЗ в цілому дорівнює

$$T = \frac{T_p}{N} = 1 / \sum_{i=1}^n u_i Z_i = \frac{1}{Z},$$

де Z – параметр потоку відмов виробу.

Іншим показником надійності РЕЗ, що нормується і задається керівними документами, є середній час відновлення T_B . Він залежить від кваліфікації виконавців (t – середній час виконання перевірки параметра, t_y – середній час усунення несправності), якості метрологічного та діагностичного забезпечення, потужності підмножин елементів, що використовують в окремих режимах роботи виробу, та ймовірності їх відмови.

При пошуку дефектів під час поточного ремонту по програмам, побудованим на основі використання умовних алгоритмів мінімальної форми, середня кількість перевірок

$$K_i = \log_2 L_i; i = \overline{1, n};$$

де K_i – середня кількість перевірок для пошуку дефектів в підмножині елементів L_i , серед яких необхідно визначити несправний.

Середня кількість перевірок при поточному ремонті виробу, в цілому

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i.$$

При цьому загальна кількість елементів РЕЗ

$$L = \sum_{i=1}^n L_i$$

за умови, що елементи підмножин використовуються тільки в окремих режимах роботи, а середня кількість перевірок $K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$.

Ймовірність відмови виробу в наслідок появи дефекту серед елементів L_i дорівнює:

$$\frac{N_i}{N} = \frac{T_{pi}}{T_i T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i} = \frac{u_i T_p}{\frac{1}{Z_i} T_p Z} = \frac{u_i Z_i}{Z},$$

при цьому

$$T \sum_{i=1}^n Z_i u_i = 1.$$

Середній час відновлення виробу – дискретна випадкова величина, математичне сподівання якої є сума добутоків її можливих значень (K_i) на ймовірність їх появи ($u_i z_i / z$). Тоді розрахунковий час відновлення РЕЗ (без врахування метрологічної надійності засобів вимірювань) дорівнює:

$$T_{BP} = t_y + \frac{t}{z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i.$$

В такому разі комплексний показник надійності виробу – коефіцієнт готовності, дорівнює

$$A = \frac{T}{T + T_{BP}} = 1 / \left[1 + t \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i + t_y \sum_{i=1}^n u_i Z_i \right],$$

а коефіцієнт неготовності $U = 1 - A$.

Цей вираз не враховує ймовірність правильної постановки діагнозу $P = p^K$, де p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки параметру РЕЗ, а також метрологічну надійність засобів вимірювань $P(\tau)$, де τ – період перевірки засобів вимірювань.

Таким чином, цільова функція досліджень – мінімізація значення комплексного показника надійності виробу – коефіцієнту неготовності при обмеженнях на припустимі значення наробітку на відмову (T_δ) і середнього часу відновлення ($T_{\delta 0}$), що визначаються керівними документами, при заданому режимі експлуатації (T_{pi}, u_i), приймає вигляд:

$$U(x) = \min U(x^*); x^* \in \Delta; x = (L_i, u_i, T_{pi}, Z_i, n, p, t, t_y, P(\tau), T, T_\delta);$$

$$T(T_{pi}, u_i, Z_i, n) \geq T_\delta; T_\delta(t, t_y, K, p, P(\tau)) \leq T_{\delta 0};$$

де x – параметри, що впливають на надійність виробу;

x^* – їх значення при рішення завдання;

Δ – область припустимих меж зміни значень параметрів.

Групи некерованих параметрів:

L_i, n, Z_i – залежать від схеми виробу і надійності елементної бази.

Групи керованих параметрів в умовах експлуатації:

T_i, u_i – залежать від режиму експлуатації виробу;

t, t_y – залежать від кваліфікації виконавців і умов відновлення працездатності;

K – залежить від якості діагностичного забезпечення і форми умовних алгоритмів пошуку дефектів;

$p, P(\tau)$ – залежать від засобів вимірювальної техніки, які використовують під час поточного ремонту для оцінки значень сигналів в контрольних точках виробу.

В такому разі в якості показника ефективності доцільно використовувати відносне зниження коефіцієнту неготовності, значення якого розраховано при використанні відомих методик (U'), в порівнянні з отриманим за запропованою моделлю надійності об'єктів зі змінною структурою (U):

$$\eta = 100(U' - U) / U' \%$$

Отримані результати зібрані в табл. 1.2, яка є математичною моделлю оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою.

Запропонована модель відрізняється від відомих врахуванням часу роботи виробу в окремих режимах, ймовірності відмови в кожному режимі роботи і метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки.

Таблиця 1.2

Математична модель оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою

Показник	Функціональні залежності	
	Без врахування багаторежимності	З врахуванням багаторежимності
Параметр потоку відмов	$Z' = \sum_{i=1}^n Z_i$	$Z = \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Наробіток на відмову	$T' = 1/Z'$	$T = 1/Z$
Загальна кількість відмов за час T_p	$N' = T_p \sum_{i=1}^n Z_i$	$N = T_p \sum_{i=1}^n u_i Z_i$
Розрахунковий середній час відновлення	$T'_{BP} = t_y + \frac{t}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	$T_{BP} = t_y + \frac{t}{Z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i$
Середня кількість перевірок	$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i$	
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P = P^K$	
Середній час відновлення	$T'_B = \frac{T'_{BP}}{P}$	$T_B = \frac{T_{BP}}{P \cdot P(\tau)}$
Коефіцієнт готовності виробу	$A' = \frac{T'}{T' + T'_B}$	$A = \frac{T}{T + T_B}$
Коефіцієнт не готовності виробу	$U' = \frac{T'_B}{T' + T'_B}$	$U = \frac{T_B}{T + T_B}$
Ефект від використання моделі	$\eta = \frac{U' - U}{U'} 100\%$	

Адекватність моделі підтверджується тим, що отримані формули правого стовбця табл. 1.2 при $u_i = 1$ і $P(\tau) = 1$ без врахування ймовірності відмови підмножин елементів L_i перетворюються у відомі вирази, які приведено в лівому стовпчику табл. 1.2.

Розглянемо порядок використання отриманих результатів на прикладі оцінки значень показників надійності радіостанції п'ятого покоління. Теоретико-множинна модель радіостанції приведено на рис. 1.22, де M_1 – множина елементів, що використовують в режимі “передача”, M_2 – в режимі “прийом”, M_{12} – ядро, що використовують в обох режимах роботи (підсистеми електроживлення, управління і функціонування, генераторне обладнання, антена).

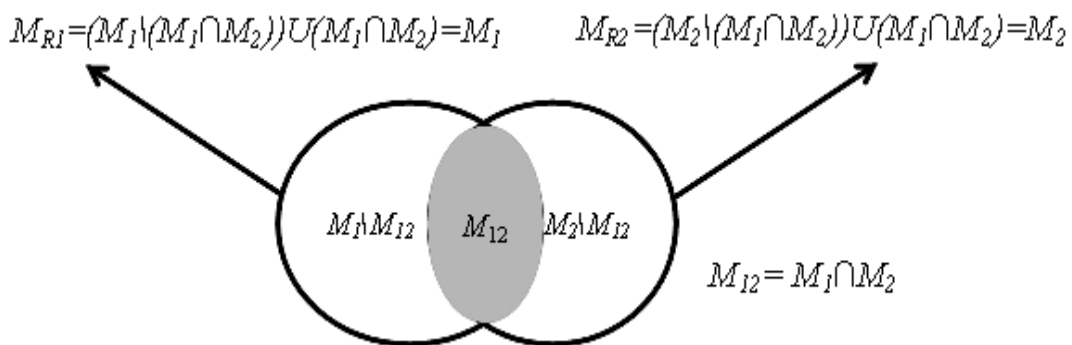


Рисунок 1.22 – Теоретико-множинна модель радіостанції тактичної ланки управління

Загальна кількість елементів радіостанції складає $L = 4096$, з яких в обох режимах використовується загальна кількість $L_3 = 512$ елементів, в режимі «прийому» $L_2 = 3072$ елемента і в режимі «передача» $L_1 = 1024$ елемента. При цьому $Z_1 = 307 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, $Z_2 = 532 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-2}$, $Z_3 = 154 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Без врахування властивостей багаторежимності отримаємо ($n = 3$)

$$Z' = \sum_{i=1}^3 Z_i = 993 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1},$$

наробіток на відмову дорівнює $T' = 1007$ год. Під час поточного ремонту радіостанції використовують засоби вимірювальної техніки з метрологічними характеристиками $p = 0,997$ і $P(\tau) = 0,96$. Якщо під час поточного ремонту застосовують умовні алгоритми діагностування, то $K = 8,86$. Вважаючи, що кваліфікація фахівців забезпечує $t = 3,5$ хв і $t_y = 8$ хв отримуємо середній час відновлення $T'_B = 43$ хв. Ці показники повністю відповідають вимогам до надійності аналогічних об'єктів $T_d \geq 1000$ год і $T_{ob} \leq 60$ хв, при цьому $A' = 0,9993$ ($U' = 0,0007$).

Результати обчислень для тих же вихідних даних з використанням математичної моделі надійності табл. 1.2 при врахуванні властивості радіостанції роботи в двох режимах залежно від співвідношення часу роботи на “прийом” або “передачу” приведено на рис. 1.23–1.26.

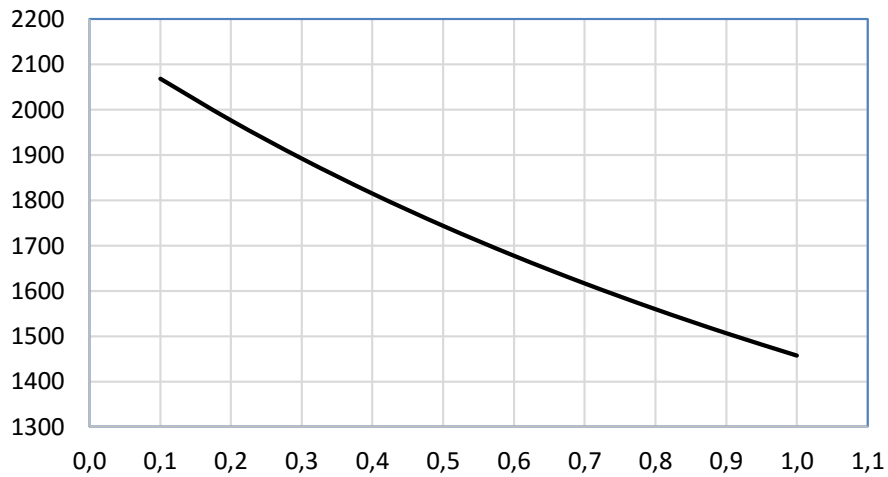


Рисунок 1.23 – Залежність наробітку на відмову радіостанції від відносного часу роботи в режимі “прийом”

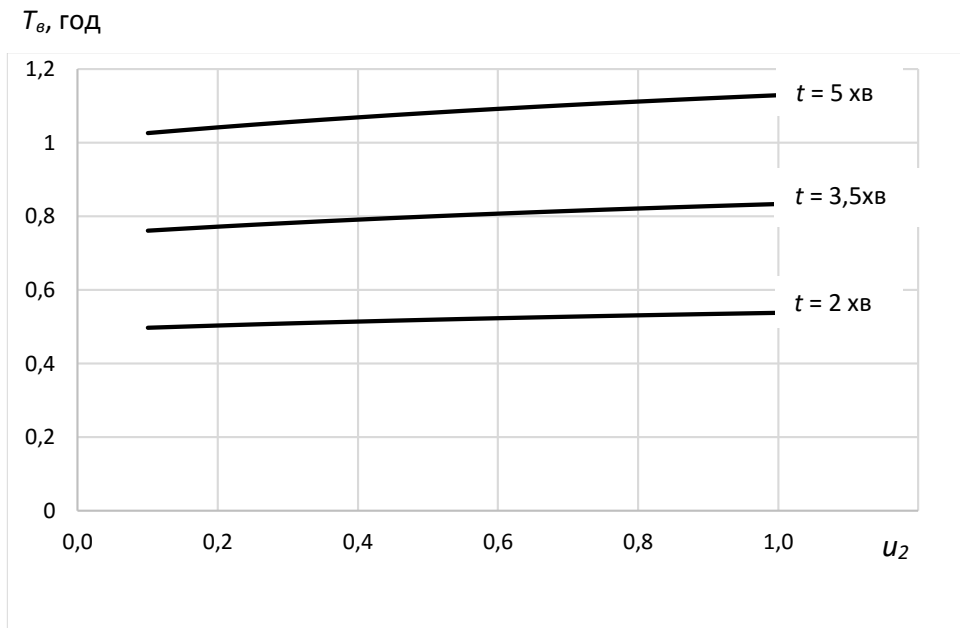


Рисунок 1.24 – Залежність середнього часу відновлення радіостанцій від відносного часу роботи в режимі “прийом”

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі збільшенням відносного часу роботи радіостанції в режимі “прийом”:

наробіток на відмову зменшується, оскільки в цьому режимі використовується більшість елементів радіостанцій (рис. 1.23);

середній час відновлення також не суттєво збільшується оскільки зростає значення імовірності відмови в прийомній частині радіостанції, при чому ця закономірність зберігається при будь-якому часі виконання перевірки t (рис. 1.24);

внаслідок зменшення значення наробітку на відмову T і збільшення середнього часу відновлення T_c також зменшується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності A (рис. 1.25) та, відповідно, зростає значення коефіцієнту неготовності U (рис. 1.26);

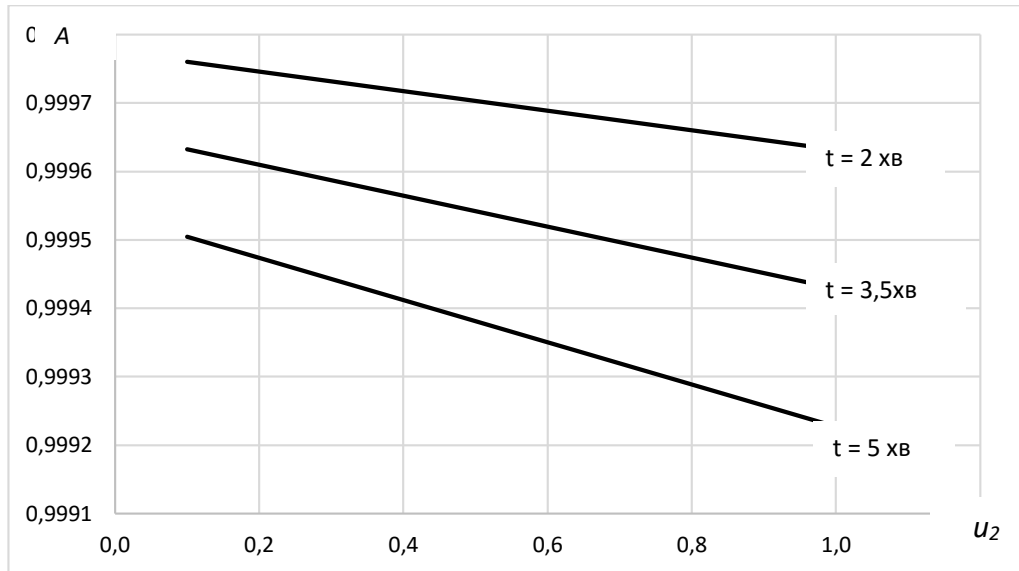


Рисунок 1.25 – Залежність коефіцієнту готовності радіостанції від відносного часу роботи в режимі “прийом”

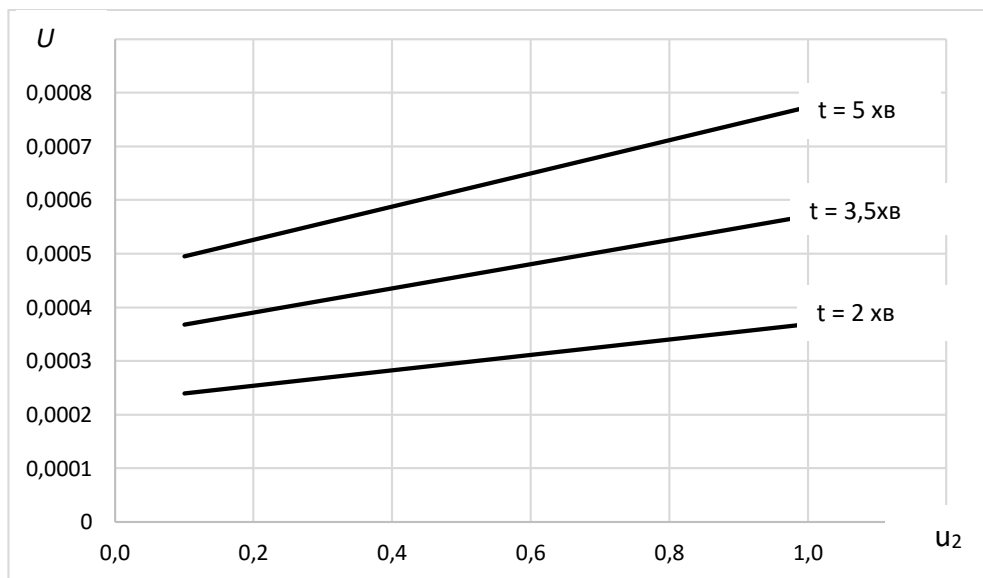


Рисунок 1.26 – Залежність коефіцієнту неготовності радіостанції від відносного часу роботи в режимі “прийом”

вказані тенденції зберігаються при будь яких значеннях середнього часу виконання перевірки t , при чому його скорочення за рахунок підвищення кваліфікації виконавців та удосконалення діагностичного забезпечення (вибір перевірок з меншими працевтратами) веде до підвищення коефіцієнту готовності (A).

Порівняння результатів з прототипом (розрахунок аналогічних показників без врахування багаторежимності радіостанції) показує, що при 90% часу роботи радіостанції в режимі «прийом» ($u_2 = 0,9$), що найчастіше має місце на практиці, маємо уточнення часу наробітку на відмову на 33% ($T = 1507$ год), середнього часу відновлення на 14% ($T_e = 50$ хв.) і зниження коефіцієнту неготовності на 28% ($U = 0,000548$).

Тобто, можливо було використовувати елементи меншої вартості для забезпечення необхідних вимог щодо надійності радіостанції під час її проектування і виробництва.

Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багато режимності занижує значення цього показника надійності. Тобто, якщо воно задовольняє вимогам, то реальне значення наробітку на відмову буде більше, що впливає на вартість виробу. Врахування властивості багато-режимності радіоелектронних засобів дозволяє уточнити значення наробітку на відмову і середнього часу відновлення: існуючі моделі занижують значення наробітку на відмову та середній час відновлення.

Використання запропонованої моделі кількісної оцінки значень показників надійності радіоелектронних засобів зі змінною структурою дозволяє знизити вартість виробів при забезпеченні необхідних значень наробітку на відмову і середнього часу відновлення за рахунок зниження вимог до надійності елементної бази.

Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багато-режимних об'єктів РЕЗ.

Подальші дослідження слід направити на розробку методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою з використанням отриманої моделі, а також на оцінку показників надійності систем в цілому з їх використанням.

1.7. Метод оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою

У підрозділі запропоновано вдосконалення методу оцінки значень наробітку на відмову, середнього часу відновлення і коефіцієнту готовності радіотехнічних засобів зі змінною структурою. Сутність удосконалення полягає у врахуванні часу роботи окремих складових частин виробу в можливих режимах використання за призначенням. У відомих роботах ця обставина не враховується, тому результати розрахунків дають занижену оцінку значень показників надійності, а це, в свою чергу, веде до завищення вартості виробу. Приведено приклад використання методу та показано ефект від його застосування.

Сучасні дослідження в галузі теорії надійності складних технічних систем направлені на створення об'єктів з заданими значеннями показників надійності за рахунок впровадження резервування найменш надійних конструктивних елементів, і виробництво так званих «абсолютно надійних систем», у яких коефіцієнт готовності $A > 0,997$ (в окремих випадках, наприклад, для міжпланетних космічних апаратів, роботів для дослідження інших планет). Крім

того, особлива увага приділяється розробці програмно-керованих радіотехнічних засобів і систем, що також впливає на їх надійність. Але, складність сучасних радіотехнічних засобів і щільність монтажу безупинно збільшується: тільки в радіостанціях тактичної ланки управління за останні тридцять років кількість елементів і щільність монтажу збільшилось більш ніж в шість разів. При цьому вимоги до значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення цих виробів не змінилися.

В сучасних закордонних джерелах розглянуто різні аспекти забезпечення надійності радіоелектронних засобів – від підвищення якості елементної бази до прогнозування зміни значень показників надійності з часом, але методи оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою також не розглядаються.

Таким чином виникає завдання забезпечення необхідного рівня надійності виробів при мінімізації їх вартості. Для його рішення потрібно удосконалення існуючих методів розрахунку значень показників надійності складних технічних об'єктів з урахуванням їх властивостей: багаторежимності, багатофункціональності, наявності надлишковості, що веде до зміни структури об'єкту під час його використання за призначенням. В даний час відсутні не тільки практичні, але й теоретичні методи розрахунку ефективності функціонування систем зі змінною структурою, яка може змінюватися випадковим чином через короткі інтервали часу. Зміна структури завжди відбувається в залежності від зміни виконуваних системою функцій.

Тому виникає необхідність удосконалення методу оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою врахуванням часу роботи окремих сукупностей елементів в можливих режимах використання за призначенням.

Призначення методу, його сутність, вихідні данні, обмеження і припущення, а також результат від використання наведено на структурній схемі рис. 1.27. Запропонований математичний апарат зведено в табл. 1.2, де вперше впроваджено коефіцієнти використання сукупностей елементів виробу, значення яких впливають на всі інші показники надійності.

Блок-схему алгоритму реалізації удосконаленого методу наведено на рис. 1.28, де додатково позначено: T_{δ} – припустиме значення наробітку виробу на відмову, $T_{\delta 0}$ – припустимий час відновлення виробу при поточному ремонті. Значення цих показників є в керівних документах. Інші вихідні данні стримують:

L, n, L_i – із аналізу схеми виробу;

Z_i – розрахунок параметру потоку відмов сукупностей елементів за відомими методиками;

T_p, T_{pi} – з аналізу режиму роботи виробу під час експлуатації;

$p, P(\tau)$ – залежно від типу засобів вимірювальної техніки;

t, t_y – з аналізу роботи фахівців ремонтного органу залежно від їх кваліфікації.

Використання методу на прикладі радіостанції приведено в попередньому підрозділі.



Рисунок 1.27 – Структурна схема використання методу кількісної оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою

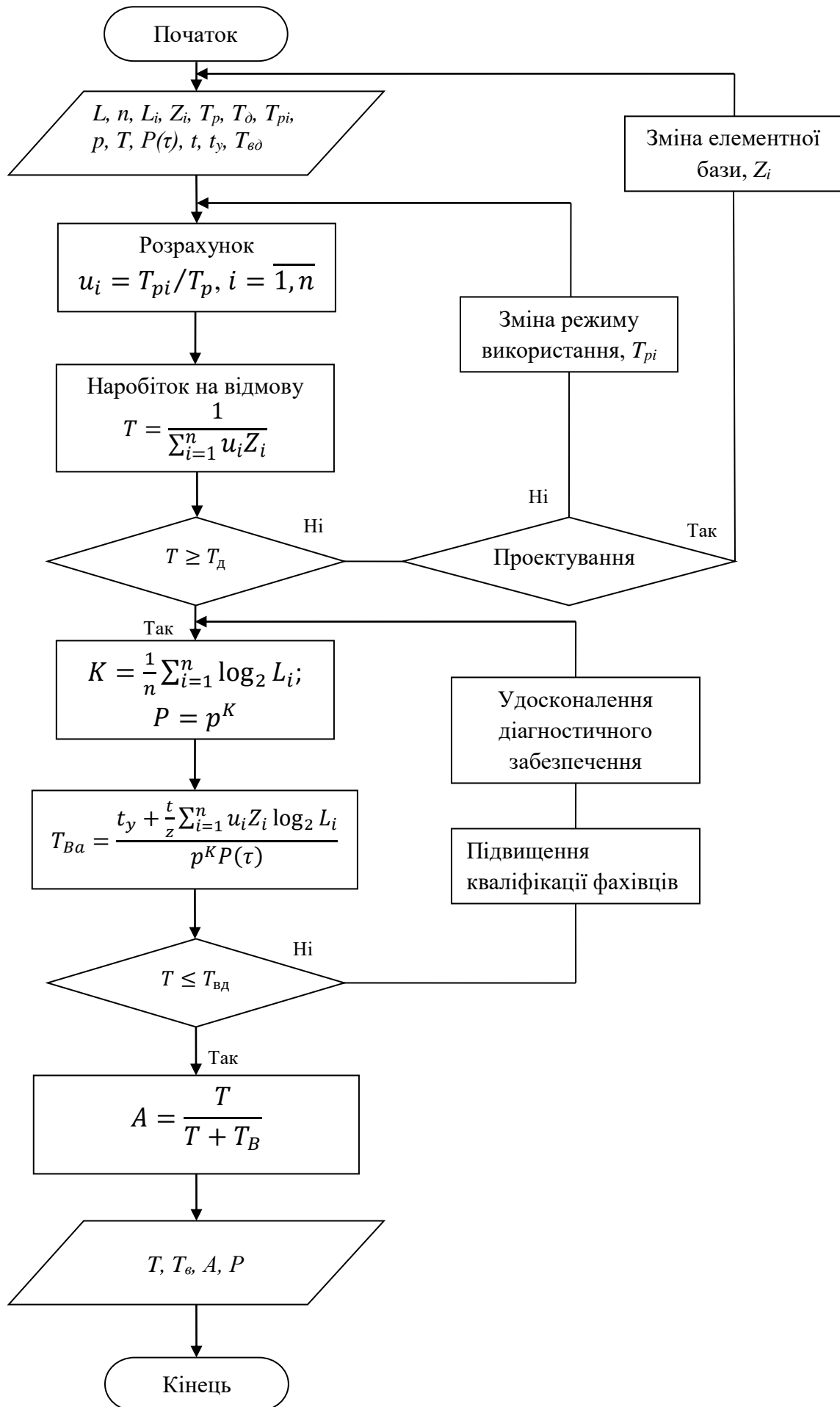


Рисунок 1.28 – Блок-схема алгоритму реалізації методу оцінки значень показників надійності об’єктів зі змінною структурою

Розглянемо порядок використання отриманих результатів на прикладі оцінки значень показників надійності радіостанції п'ятого покоління. Теоретико-множинна модель радіостанції приведено на рис. 1.22, де M_1 – множина елементів, що використовують в режимі «передача»; M_2 – в режимі «прийом»; M_{12} – ядро, що використовують в обох режимах роботи (підсистеми електроживлення, управління і функціонування, генераторне обладнання, антена). В підрозділі пропонується розглянути удосконалення методу кількісної оцінки показників надійності об'єктів зі змінною структурою, приведено алгоритм реалізації і показано переваги відносно існуючих методів. Встановлено, що використання властивостей багато режимності, не впливає на структуру об'єкту, покращує значення показників надійності: як наробітку на відмову, так і середнього часу відновлення. Сутність удосконалення методу і його наукова новизна полягають у врахуванні властивостей багато режимності об'єкту і часу роботи окремих підмножин елементів в можливих режимах при використанні за призначенням. Подальше дослідження доцільно направити на оцінку значень показників надійності системи зв'язку з врахуванням можливості зміни її структури під час використання за призначенням особливо на навчаннях і при веденні бойових дій, а також часу роботи окремих елементів системи.

1.8. Удосконалення методики оцінки показників надійності засобів спеціального зв'язку під час дослідної експлуатації

Одним із найважливіших гострих завдань створення сучасних РЕЗ є проблема забезпечення і оцінки їх надійності. Складність та відповідальність задач, розв'язуваних з використанням ЗСЗ, вимагає високі вимоги до їх надійності, які кількісно оцінюють під час проведення дослідної експлуатації перспективних зразків в реальних умовах. При цьому необхідно за обмежений час отримати кількісні значення показників надійності та встановити їх відповідність технічному завданню на розробку. У випадку невідповідності необхідно встановити причину та обґрунтувати напрямки подальшої модернізації. У підрозділі запропоновано комплексне врахування сучасних досягнень теорії надійності, технічної діагностики і метрології для удосконалення методики оцінки показників надійності ЗСЗ під час дослідної експлуатації, що дозволить уточнити значення наробітку на відмову, середнього часу відновлення і комплексного показника надійності як коефіцієнта готовності виробу. Наукова новизна роботи полягає в комплексному врахуванні впливу апаратних і програмних засобів, метрологічного і діагностичного забезпечення, властивості багато режимності і зміни структури виробу під час використання за призначенням, а також нових моделей і методу оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою, алгоритмізації процесу оцінки показників надійності ЗСЗ в процесі дослідної

експлуатації, що і є сутністю удосконалення методики. Також, отримані наукові результати доведено до практично реалізованих у військових умовах рекомендацій, що підтверджено конкретним прикладом оцінки показників надійності програмно-керованого ЗСЗ під час дослідної експлуатації протягом двох років. Подальші дослідження доцільно направити на уточнення функціональних залежностей показників надійності програмно-керованих ЗСЗ від часу дослідної експлуатації. Ефект від впровадження удосконаленої методики полягає в об'єктивній оцінці показників надійності ЗСЗ під час їх експлуатації в реальних умовах, визначенні найменш надійних елементів і систем виробу, обґрунтуванні рекомендацій щодо підвищення або доведення до необхідного рівня показників надійності.

Одним із найважливіших гострих завдань створення сучасних радіоелектронних засобів є проблема забезпечення і оцінки їх надійності. Складність та відповідальність задач, розв'язуваних з використанням ЗСЗ, вимагає високі вимоги до їх надійності, які кількісно оцінюють під час проведення дослідної експлуатації перспективних зразків в реальних умовах. При цьому необхідно за обмежений час отримати кількісні значення показників надійності та встановити їх відповідність технічному завданню на розробку. У випадку невідповідності необхідно встановити причину та обґрунтувати напрямки подальшої модернізації.

Під дослідною експлуатацією розуміють експлуатацію заданого числа зразків ЗСЗ, що здійснюється по спеціальній програмі з метою вдосконалення способів їхнього застосування та контролю технічних характеристик в реальних умовах, а також отримання досвіду в освоєнні експлуатації нової техніки особливим складом. На дослідну експлуатацію ставляться зразки установчої серії знову розроблених або модернізованих ЗСЗ. В процесі дослідної експлуатації оцінюються значення показників якості, виявляються конструктивні та виробничі дефекти, експлуатаційні недоліки, приймаються міри з їхнього усунення на етапі засвоєння серійного виробництва.

Існуючі методики розрахунків і оцінки надійності складних систем орієнтовані головним чином на забезпечення необхідного рівня надійності використанням резервування (надлишковості). Але, сучасні програмно-керовані ЗСЗ крім апаратних засобів (АЗ) мають відповідне програмне забезпечення (ПЗ), яке також суттєво впливає на надійність виробу в цілому. Окремі питання оцінки надійності ПЗ ЗСЗ розглянуто в відомих роботах.

Крім того, ЗСЗ відносяться до багаторежимних об'єктів зі змінною структурою, що також необхідно враховувати під час кількісної оцінки показників їх надійності з використанням принципу агрегування.

Також показана необхідність врахування ймовірності відмови підмножини елементів об'єкту під час оцінки середнього часу його відновлення і впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на час виконання технічного обслуговування і ремонту.

Комплексне врахування сучасних досягнень теорії надійності, технічної діагностики і метрології для удосконалення методики оцінки показників надійності ЗСЗ під час дослідної експлуатації, дозволить уточнити значення наробітку на відмову (T), середнього часу відновлення (T_e) і комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності (A) виробу.

Методика, яка розглядається, призначена для кількісної оцінки значень показників надійності перспективних зразків ЗСЗ під час їх дослідної експлуатації і перевірки отриманих результатів на відповідність технічному завданню на розробку. Структура удосконаленої методики, її сутність, використаний математичний апарат, вихідні дані, обмеження і припущення при використанні, а також результат реалізації приведено на рис. 1.29, де ДЗ – діагностичне, а МЗ – метрологічне забезпечення.

Алгоритм реалізації удосконаленої методики приведено на рис. 1.30, де додатково позначено: УАД – умовний алгоритм діагностування, T_p – розрахункове значення наробітку виробу на відмову, T_{ep} – розрахункове значення середнього часу відновлення, A_p – розрахункове значення коефіцієнту готовності ЗСЗ, R – кількість режимів ЗСЗ.

Вимоги до надійності перспективних зразків ЗСЗ визначають згідно керівних документів після завдання класу, групи, виду і категорії (рис. 1.31).

Якщо вимоги до надійності перспективних зразків ЗСЗ відсутні або не відповідають сучасним стандартам передових країн світу їх визначають в результаті моделювання в наступній послідовності.

Отримання вихідних даних з аналізу конструктивно-схемної побудови виробу, умов його подальшого використання і ремонту:

n – підмножини елементів залежно від режиму використання;

T_3 – загальний час роботи виробу на протязі року згідно вимог до використання ресурсу;

T_{3i} – час роботи підмножини елементів $i = \overline{1, n}$ за рік;

G_i – кількість груп елементів, що використовують в підмножині $i = \overline{1, n}$.

λ_j – інтенсивність відмов елементів підгрупи $j = \overline{1, G_i}$ згідно довідників з урахуванням умов експлуатації виробу;

N_j – кількість елементів підгрупи $j = \overline{1, G_i}$;

t – середній час виконання перевірки при діагностуванні АЗ;

t_y – середній час усунення несправності АЗ;

p – імовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

$P(\tau)$ – метрологічна надійність використовуваних ЗВТ під час ремонту ЗСЗ.

Розрахунок значень показників надійності виробу виконують в наступній послідовності.

Визначення кількості елементів в підмножині $i = \overline{1, n}$ за принциповою схемою ЗСЗ – $L_i = \sum_{j=1}^{G_i} N_j$.

Оцінка параметра потоку відмов елементів підмножини $i = \overline{1, n}$:

$$Z_i = \sum_{j=1}^{G_i} \lambda_j N_j.$$

Відносний час роботи елементів підмножини $i = \overline{1, n}$ виробу:

$$u_i = T_{zi} / T_3.$$

Розрахунок параметра потоку відмов АЗ ЗСЗ в цілому:

$$Z = \sum_{i=1}^n u_i Z_i.$$



Рисунок 1.28 – Структура удосконаленої методики оцінки показників надійності засобів спеціального зв'язку під час дослідної експлуатації

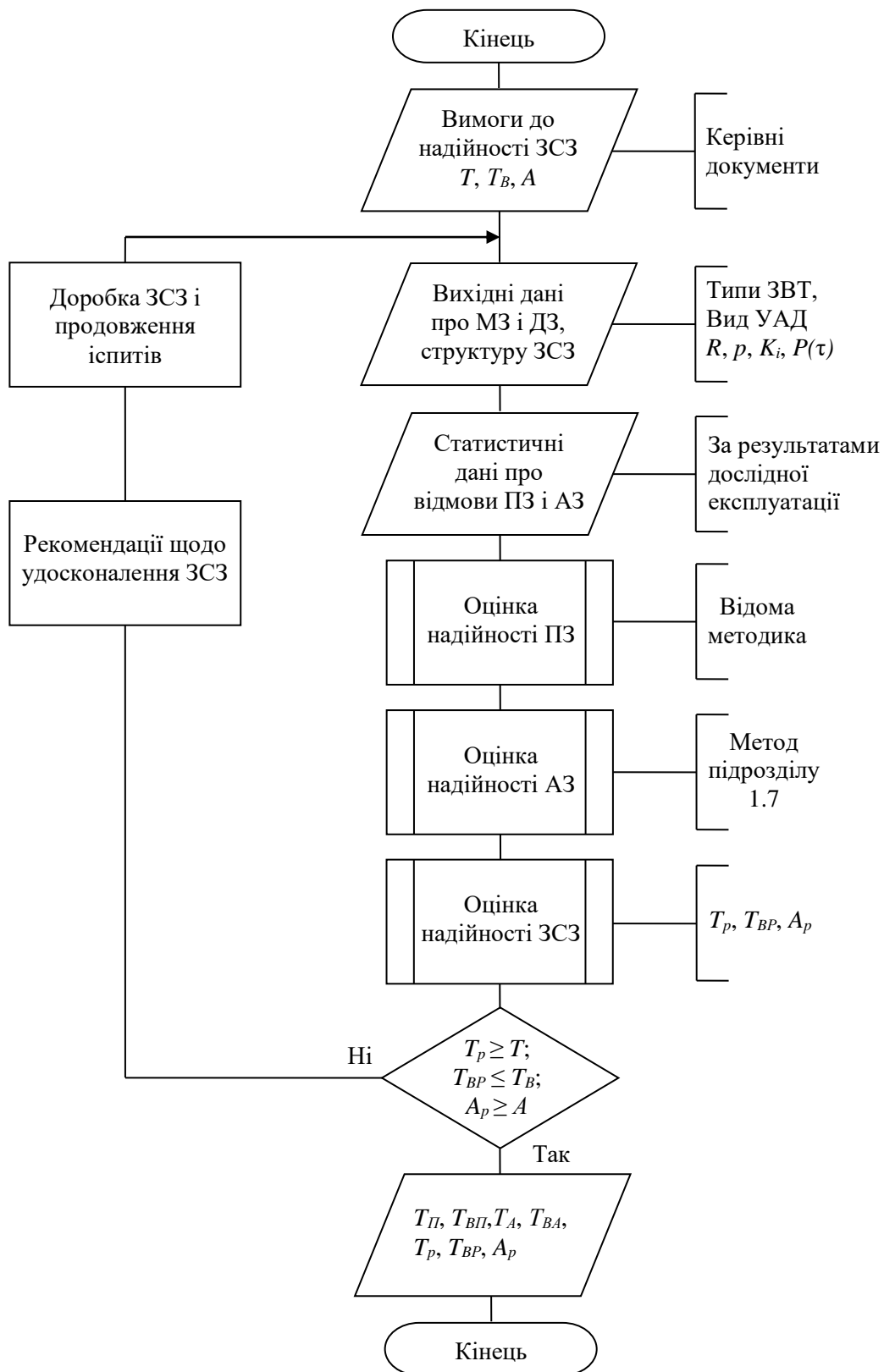


Рисунок 1.30 – Алгоритм реалізації удосконаленої методики

Наробіток на відмову АЗ ЗСЗ:

$$T_a = 1/Z.$$

Середня кількість перевірок при поточному ремонті АЗ ЗСЗ за УАД

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_2 L_i.$$

Середній час відновлення АЗ при поточному ремонті ЗСЗ:

$$T_{Ba} = \frac{t_y + \frac{t}{z} \sum_{i=1}^n u_i Z_i \log_2 L_i}{p^{KP(\tau)}}.$$

Комплексні показники надійності АЗ ЗСЗ:
коефіцієнт готовності

$$A_a = \frac{T_a}{T_a + T_{Ba}};$$

коефіцієнт неготовності

$$U_a = 1 - A_a.$$

Отримані значення показників надійності АЗ (T , T_{Ba} , A_a , U_a) дозволяють в подальшому оцінити відповідність вимогам ЗСЗ під час їх дослідної експлуатації в реальних умовах.

Другою складовою, що впливає на надійність сучасних програмно-керованих ЗСЗ, є якість ПЗ. Відомо, що більшість помилок ПЗ виявляються в перші місяці експлуатації, тому для кількісної оцінки надійності ПЗ доцільно використовувати модель, запропоновану раніше. Для цього необхідні наступні вихідні дані:

B – кількість програмно-керованих ЗСЗ, що поставлені на дослідну експлуатацію;

T_{de} – прогнозований час дослідної експлуатації;

N_{ci} – сумарна кількість помилок ПЗ, що встановлено за i місяців дослідної експлуатації;

N_{cj} – сумарна кількість помилок ПЗ, що встановлено за j місяців дослідної експлуатації ($i < j$);

M – місяць дослідної експлуатації для якого оцінюють надійність ПЗ ($1 < i < j < m < T_{de}$);

T_{pi} – час роботи комплекту $i = \overline{1, B}$ ЗСЗ за місяць m .

Загальна кількість відмов ПЗ за m місяців дослідної експлуатації прогнозується в результаті моделювання з урахуванням помилок, визначених за j перших місяців дослідної експлуатації (як правило, не більше року):

$$N_{cm} = a \left(\frac{m}{T_{де}} \right)^b \exp \left(- \frac{mb}{T_{де}} \right),$$

$$\text{де } b = \frac{\ln(N_{cj}/N_{ci})}{\frac{i-j}{T_{де}} - \ln \frac{i}{T_{де}} + \ln \frac{j}{T_{де}}}; \quad a = \frac{N_{ci}}{\left(\frac{i}{T_{де}}\right)^b \exp\left(-\frac{bi}{T_{де}}\right)}.$$

Загальний час використання ПЗ на В комплектах ЗСЗ за місяць m дорівнює:

$$\tau_{nm} = \sum_{i=1}^B T_{pi},$$

а кількість відмов ПЗ, що прогнозується за цей час

$$N_{nm} = \frac{a}{T_{де}^b} \cdot \frac{m^b - (m-1)^b \exp(b/T_{де})}{\exp(mb/T_{де})}.$$

В такому разі наробіток ПЗ на відмову за місяць m складає

$$T_{nm} = \frac{\tau_{nm}}{N_{nm}},$$

а за час дослідної експлуатації

$$T_n = \frac{b \cdot T_{де}}{a \cdot \exp(-b)}.$$

Блок-схема алгоритму оцінки показників надійності програмно-керованих ЗСЗ за результатами дослідної експлуатації приведена на рис. 1.31, де додатково позначено:

N_a – кількість відмов АЗ за час дослідної експлуатації;

N_a – кількість помилок ПЗ, що виявлено під час дослідної експлуатації;

T_{vai} – час відновлення АЗ при відмові i ;

T_{eni} – час усунення помилки ПЗ при відмові i .

Розглянемо порядок використання методики на прикладі дослідної експлуатації цифрової АТС на протязі двох років. Згідно порядку формування вимог до ЗСЗ (рис. 1.32) АТС відноситься:

клас – наземна;

група за умовами експлуатації – стаціонарна;

вид за рівнями функціонування – більше двох (можлива часткова відмова);

категорія за характером застосування – багатократна.

В такому разі в якості показників надійності доцільно використовувати наробіток на відмову, середній час відновлення і комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності, які кількісно визначено в керівних документах.

На дослідній експлуатації знаходилося $B = 11$ комплектів АТС. За $T_{де} = 24$ місяця зафіксовано $N_a = 19$ відмов АЗ. Станції працювали цілодобово, тому $T_{pi} = 24 \cdot 11 \cdot 30 = 7920$ годин за місяць дослідної експлуатації. Тобто, $T = 7920 \cdot 12 \cdot 2 / 19 = 10000$ год, що не відповідає вимогам, тому потрібна доробка

АТС, або продовження дослідної експлуатації.

За перші $i = 3$ місяця дослідної експлуатації зафіксовано $N_{ci} = 4$ помилки ПЗ, а за $j = 9$ місяців – $N_{cj} = 8$. Виходячи з $T_{\partial e} = 24$ місяці отримуємо значення коефіцієнтів $b = 0,816$ і $a = 24,2$. Сумарна прогнозована кількість відмов ПЗ за m місяців дорівнює

$$N_{nm} = 24,2 \left(\frac{m}{24}\right)^{0,816} \exp(-0,034m);$$

а прогноз для $m = T_{\partial e} = 24$ місяця, відповідно, $N_{c24} = 11$.

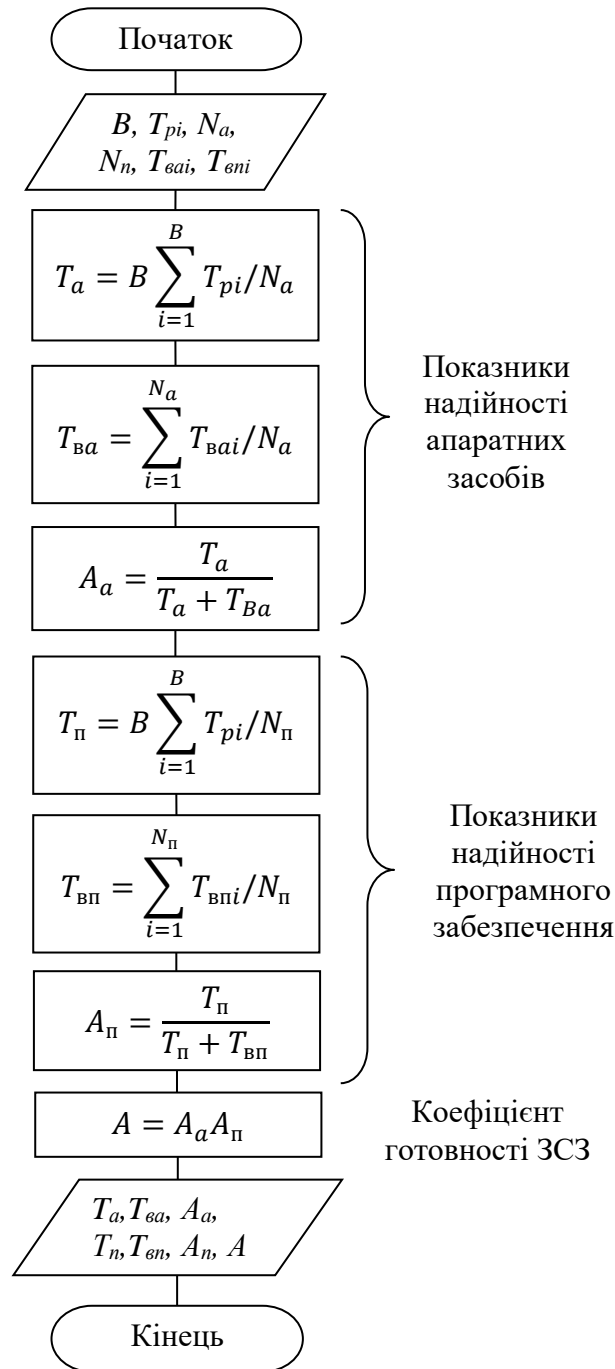


Рисунок 1.31 – Блок-схема алгоритму оцінки значень показників надійності ЗСЗ за результатами дослідної експлуатації

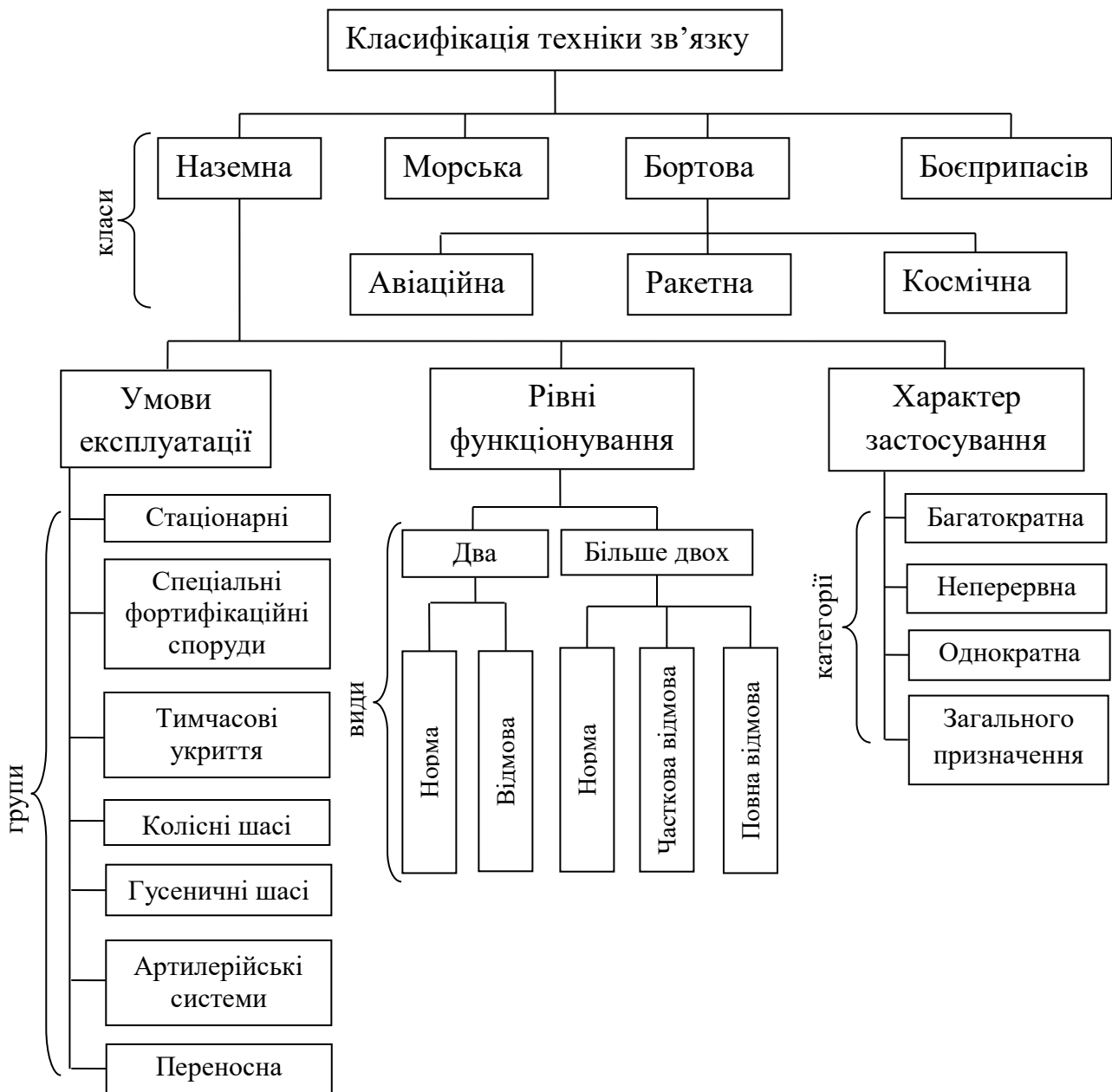


Рисунок 1.32 – Формування вимог до показників надійності засобів спеціального зв'язку залежно від їх класифікації

Наробіток на відмову ПЗ за місяць складає

$$T_{nm} = 7920/N_{nm} = \frac{4376 \exp(-0,034m)}{m^{0,816} - 1,03(m-1)^{0,816}}$$

Результати моделювання і розрахунків приведено на:

Рис. 1.33 – статистичні дані і моделювання відмов ПЗ АТС за час дослідної експлуатації і на протязі двох років;

Рис. 1.34 – сумарна кількість відмов програмного забезпечення апаратури за два роки (статистичні дані і моделювання);

Рис. 1.35 – залежності напрацювання на відмову ПЗ, АЗ і АТС в цілому від часу дослідної експлуатації;

Рис. 1.36 – залежності ймовірності безвідмовної роботи ПЗ, АЗ і АТС в

цілому від часу дослідної експлуатації.

Їх аналіз показує, що моделювання надійності ПЗ відповідає реальності (рис. 1.33 і 1.34), а після закінчення дослідної експлуатації надійність АТС цілком залежить тільки від АЗ.

Оскільки T_a через рік дослідної експлуатації практично дорівнює наробітку на відмову АТС і багато більше середнього часу відновлення, то навіть при $T_{ва} = 10$ год. маємо $A = 0,999$, тобто цей ЗСЗ відноситься до абсолютно надійної системи.

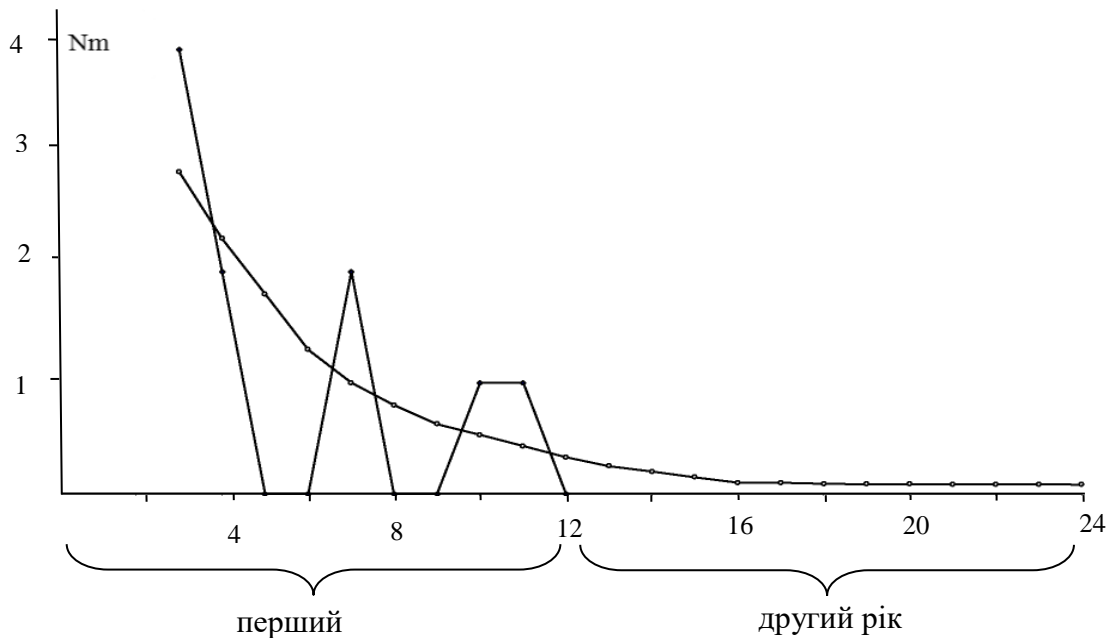


Рисунок 1.33 – Статистичні дані і моделювання відмов програмного забезпечення апаратури

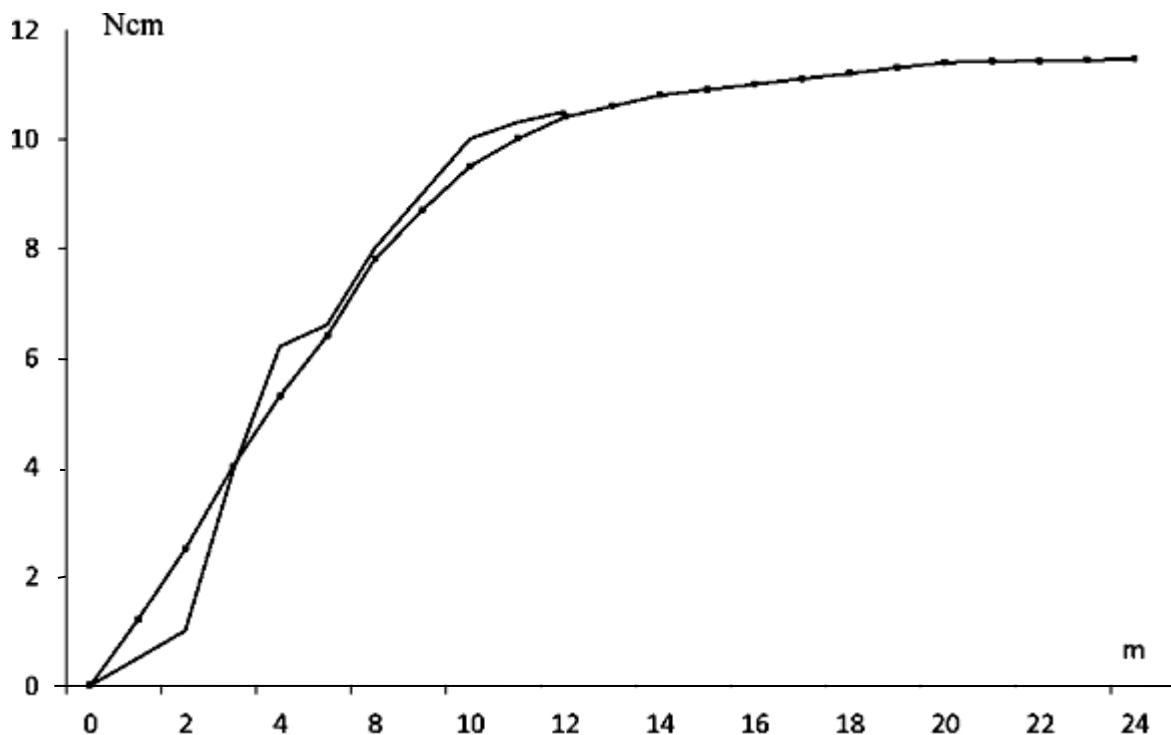


Рисунок 1.34 – Сумарна кількість відмов програмного забезпечення апаратури за два роки (статистичні дані і моделювання)

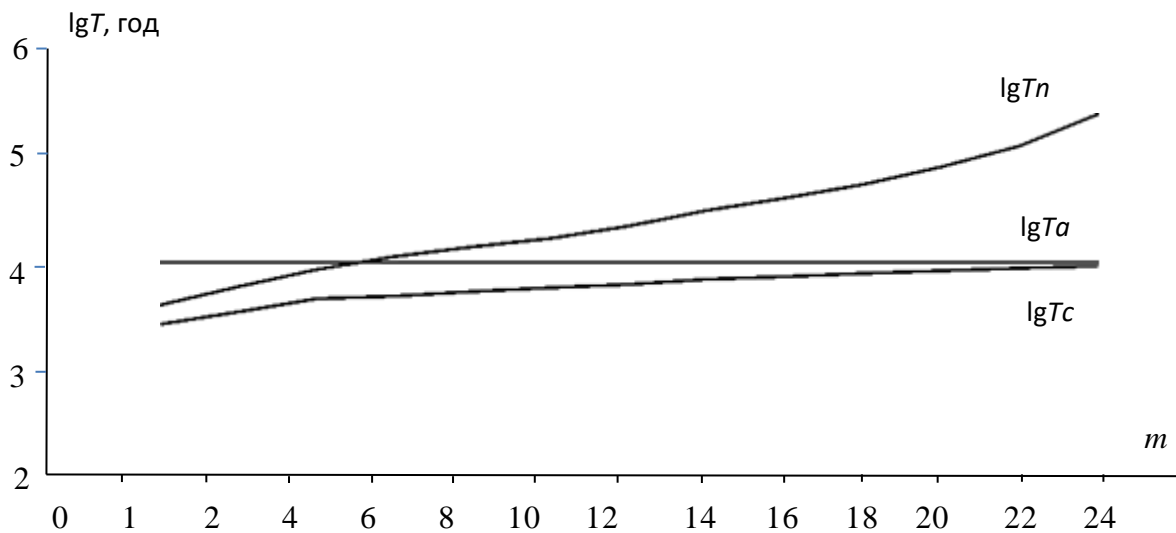


Рисунок 1.35 – Залежності напрацювання на відмову програмного забезпечення, апаратури і комп'ютерної системи в цілому від часу експлуатації в місяцях

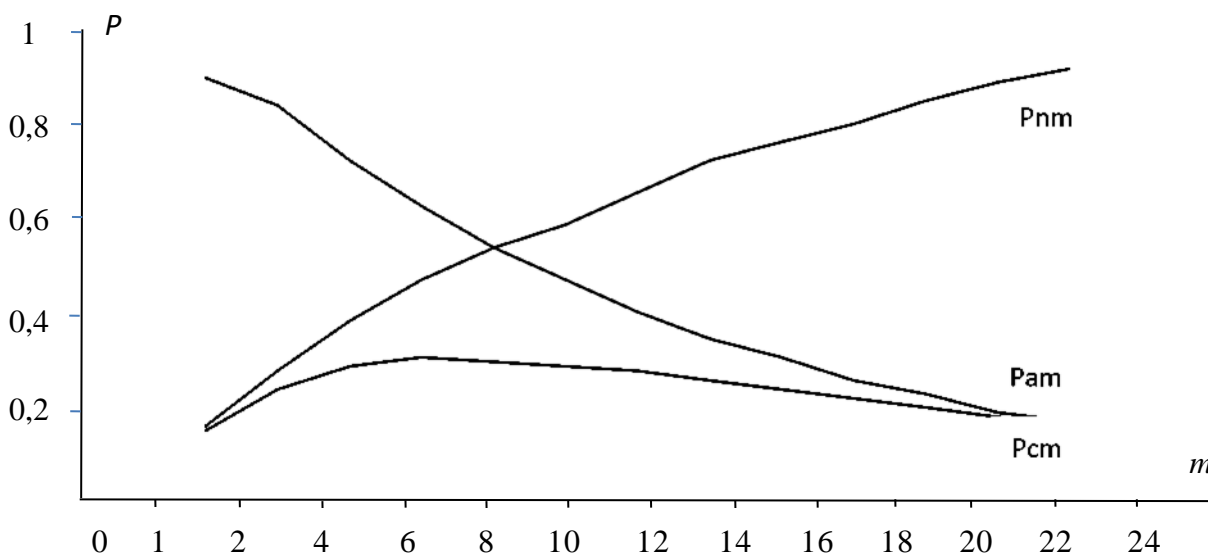


Рисунок 1.36 – Залежності ймовірності безвідмовної роботи програмного забезпечення і апаратури комплексу в цілому від часу експлуатації в місяцях

Новизна такого методу полягає в комплексному врахуванні впливу АЗ і ПЗ, метрологічного і діагностичного забезпечення, властивості багаторежимності і зміни структури виробу під час використання за призначенням, а також нових моделей і методу оцінки надійності об'єктів зі змінною структурою, алгоритмізації процесу оцінки показників надійності ЗСЗ в процесі дослідної експлуатації, що і є сутністю удосконалення методики.

Результати вдосконалення методу практично доведено до рекомендацій, які реалізовані у військових частинах, що підтверджено конкретним прикладом оцінки показників надійності програмно-керованого ЗСЗ під час дослідної експлуатації на протязі двох років.

Ефект від впровадження удосконаленої методики заключається в об'єктивній оцінці показників надійності ЗСЗ під час їх експлуатації в

реальних умовах, у визначенні найменш надійних елементів і систем виробу, обґрунтуванні рекомендацій щодо підвищення або доведення до необхідного рівня показників надійності.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає відмінність показників безвідмовності виробів, які відновлюють працездатність, від тих, що не відновлюють?
2. У чому різниця коефіцієнта готовності і коефіцієнта оперативної готовності? Який більший за своїм значенням?
3. Які фактори впливають на надійність виробу на протязі всього життєвого циклу від проектування та списання?
4. У чому різниця справного і працездатного станів виробу?
5. На які види відмов впливають розробник, виробник та користувач засобів зв'язку?
6. Яким чином середній час діагностування засобів зв'язку впливає на показники якості системи спеціального зв'язку в цілому?
7. Чому виникає необхідність врахування властивості багаторежимності засобів зв'язку під час розрахунку їх надійності?
8. Який математичний апарат використовують під час оцінки значень показників надійності засобів зв'язку?
9. Чому зі збільшенням часу експлуатації сучасних засобів зв'язку зменшується вплив на їх надійність якості програмного забезпечення?
10. Для коливання надійності засобів зв'язку що доцільно удосконалювати: метрологічне і діагностичне забезпечення ремонту, чи кваліфікаціє виконавців?

Завдання на самостійну роботу

1. Визначити переваги і недоліки забезпечення надійності засобів зв'язку за рахунок використання резервування і надлишковості.
2. Визначити особливості відновлення багато мережних і багатовихідних засобів зв'язку.
3. Покажіть, чому під час оцінки ефективності моделі надійності засобів зі змінною структурою доцільно використовувати коефіцієнт неготовності.
4. Обґрунтуйте необхідність проведення дослідної експлуатації перспективних засобів зв'язку.
5. Оцініть вплив діагностичного і метрологічного забезпечення, а також якості програмного забезпечення показники надійності сучасних засобів зв'язку.
6. Визначити, які класи, групи, види і категорії однотипних засобів зв'язку забезпечують найкращі значення їх показників надійності.
7. Визначити керовані і некеровані змінні що впливають на надійність засобів зв'язку на всіх етапах їх життєвого циклу.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗА СТАНОМ

Експлуатаційна надійність засобів та комплексів спеціального зв'язку суттєво залежить від якості технічного обслуговування та поточного ремонту. В даний час технічне обслуговування виконується за календарним принципом, але керівні документи вимагають переходу до обслуговування за станом, коли має місце економія часу та засобів при збереженні якості робіт. Для впровадження цього принципу обслуговування необхідне вирішення актуальних завдань щодо методичного забезпечення наукового обґрунтування порядку і кількості перевіряємих параметрів обладнання, метрологічного та діагностичного забезпечення робіт, що є метою цього розділу. При цьому використовуються сучасні досягнення теорії експлуатації технічних об'єктів і систем, метрології і технічної діагностики, які відсутні у відомих методичних рекомендаціях щодо обслуговування і ремонту засобів та комплексів спеціального зв'язку. Запропоновані результати наукових досліджень доведено до методик, які можуть практично реалізовані у воєнних умовах, і такі, що доцільно використовувати як для існуючих, так і перспективних засобів зв'язку.

2.1. Система технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку

Державна система спеціального зв'язку України забезпечує передачу інформації, що містить державну таємницю, функціонує в інтересах управління державою в мирний та воєнний час. Вона виконує наступні завдання:

організація і забезпечення експлуатації, безпеки, розвитку та вдосконалення спеціального зв'язку;

підтримка та вдосконалення постійної бойової та мобілізаційної готовності підрозділів спеціального зв'язку.

Для якісного вирішення завдань Державної службою спеціального зв'язку та захисту інформації організовується експлуатація ЗСЗ. До експлуатації виробів відноситься стадія життєвого циклу з моменту їх прийняття від виробників до списання.

Етапи експлуатації виробів військового призначення (ДСТУ В 3576-97): введення в експлуатацію; приведення до готовності; підтримання готовності; використання за функціональним призначенням; зберігання під час експлуатації; транспортування.

Технічна експлуатація ЗСЗ – комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безперервного та надійного функціонування технологічного обладнання, а також утворення на його базі мереж спеціального зв'язку.

Технічна експлуатація виробів військового призначення – комплекс робіт, які виконуються на всіх етапах експлуатації.

Технічне обслуговування (ТО) – комплекс операцій по підтриманню справності та працездатності технологічного обладнання ЗСЗ під час їх технічної експлуатації.

Система ТО – сукупність взаємопов'язаних засобів, виконавців та документації ТО, призначена для підтримання і відновлення справного чи працездатного стану технологічного обладнання.

Система ТО управляє технічним станом виробів вирішенням наступних задач:

зниження впливу деградованих процесів, що знижують якість функціонування технологічного обладнання;

попередження виникнення відмов за рахунок своєчасного проведення ТО;

оцінка технічного стану технологічного обладнання в ході ТО з його підтриманням в стані постійної готовності до використання за призначенням;

повне і якісне виконання робіт ТО;

мінімізація витрат на ТО без зниження якості робіт за рахунок вдосконалення технології, впровадження сучасних методик обслуговування, підвищення кваліфікації виконавців.

Єдина система комплексного ТО озброєння та військової техніки в силових структурах України реалізує принципи:

календарний – проведення ТО через певні інтервали часу незалежно від режиму використання (легко планувати, але необґрунтована витрата сил та засобів);

по напрацюванню – проведення ТО після роботи виробу протягом визначеної кількості годин (економія сил та засобів, але важко планувати);

змішаний – частина системи обслуговується за календарним принципом, а друга – по напрацюванню;

за станом – контроль технічного стану виконується періодично в повному обсязі, а інші роботи в залежності від результатів контролю (легко планувати, економія сил та засобів без втрати якості робіт).

Ефективність ТО оцінюють наступними показниками:

коефіцієнт ефективності

$$K_{\text{ТО}} = \frac{r_{\text{ТО}}}{r_{\text{ТО}} + r},$$

де $r_{\text{ТО}}$ - кількість несправностей, визначених та відвернутих в процесі ТО, а r - кількість відмов виробу в період до наступного ТО, при чому:

$$0 < K_{\text{ТО}} < 1.$$

Ефективність ТО – відношення наробітку на відмову $T_{\text{ТО}}$ виробу при проведенні ТО до того ж показника T без проведення ТО

$$E_{\text{ТО}} = \frac{T_{\text{ТО}}}{T} = \frac{1}{1 - K_{\text{ТО}}}, E_{\text{ТО}} > 1,$$

трудомісткість ТО – затрати праці на проведення одного ТО даного виду;

періодичність ТО – інтервал часу чи наробітку між двома ТО одного виду.

Висока якість та ефективність ТО досягається:

цілеспрямованим проведенням виховної роботи з особовим складом;

своєчасним і якісним плануванням;

постановкою конкретних задач виконавцям;

чіткою організацією взаємодії підрозділів;

аналізом причин відмов і вживанням заходів щодо виключення їх повторення;

своєчасним і повним забезпеченням робіт;

знанням особовим складом технології робіт і виконанням їх у відповідності до вимог документації;

постійним керівництвом і контролем з боку посадових осіб;

підбиття підсумків робіт з аналізом і оцінкою дій кожного виконавця;

узагальненням і поширенням передових методів організації проведення ТО.

2.2. Види і зміст робіт при технічному обслуговуванні

Всі роботи по ТО виробів ЗСЗ поділяються на види: контроль технічного стану; зовнішній огляд і чистка; механічна профілактика; роботи по змашенню; проведення регулювань; заміна елементів; прогнозування відмов.

Контроль технічного стану є найважливішою складовою ТО, на базі якої визначається перелік останніх робіт. Проводиться з метою оцінки фактичного стану виробу і зводиться до співвідношення вимірних значень параметрів до їх номінальних з урахуванням допусків.

Для техніки поточного забезпечення передбачаються наступні види ТО:

контрольний огляд (КО) проводиться перед заняттями, навчаннями, транспортуванням з метою перевірки готовності виробу до використання за призначенням і включає перевірку наявності і стану комплектуючих частин, надійності їх кріплення, наявності електроживлення і засобів забезпечення безпеки;

щоденне ТО (ЩТО) проводиться на техніці, яка працює безперервно або з невеликими перервами понад одну добу, а також після занять і транспортування, передбачає перевірку зовнішнього стану, перевірку надійності заземлення, кріплення роз'ємів і блоків, перевірку працездатності, прибирання робочих місць і приміщень;

технічне обслуговування № 1 (ТО-1) проводиться один раз на місяць на всій техніці підрозділу незалежно від інтенсивності використання під час паркових днів, а також після навчань і передбачає ЩТО, огляд і чищення блоків, роз'ємів, перевірку усіх комплектуючих виробів із записом результатів в апаратний журнал, поповнення ЗПП-0;

щоквартальне ТО (КТО) проводиться один раз на три місяці і передбачає виконання ТО-1 з додатковим переліком робіт, визначених в технічній документації;

сезонне технічне обслуговування (СО) проводиться один раз на півроку при переході на літній або зимовий період експлуатації, включає ТО-1 із заміною мастил, щільності електроліту акумуляторних батарей, рідини охолодження радіаторів транспортної бази;

технічне обслуговування № 2 (ТО-2) проводиться один раз на рік на всій техніці поточного забезпечення і передбачає виконання ТО-1, перевірку всіх параметрів і характеристик в усіх режимах роботи, перевірку ведення експлуатаційної документації із записом результатів у формуляр.

Під час ТО-1 і ТО-2 використовують деталі і матеріали зі складу ЗПП-О, після чого його поповнюють.

Найважливішими видами ТО технологічного обладнання засобів комп'ютерних систем та мереж є щоденне (ЩТО), щомісячне (ТО-1) і щорічне (ТО-2) ТО.

ЩТО охоплює зовнішній вигляд технічних засобів ЗСЗ та персональних комп'ютерів (ПК), очищення пристроїв, перевірку температури і вологості в приміщенні, роботу добового регламенту окремих пристроїв комп'ютерної системи, автоматичний контроль функціонування ПК за допомогою вбудованих програмних засобів, контроль функціонування ПК за допомогою засобів операційної системи.

При ТО-1 крім переліку робіт ЩТО виконують додатково огляд кріплення роз'ємів та виконання робіт тижневого регламенту (якщо такий передбачено експлуатаційною документацією) окремих пристроїв ПК. Передбачає перевірку роботи пристроїв керування і сигналізації, функціонування ПК при зміні напруги вторинних джерел електроживлення, комплексну програму перевірки ПК при номінальній нарузі.

ТО-2 крім програми ТО-1 передбачає огляд і очищення плат, блока електроживлення, кабелів і джгутів, перевірку заземлення шляхом вимірювання перехідного опору, виконання робіт місячного регламенту окремих пристроїв (якщо таке передбачено), резервне копіювання системи, перевірку захисту системи електроживлення і сигналізації на випадок перегрівання процесора чи інших компонентів ПК, відпрацювання комплексу програм контролю функціонування і контролю продуктивності комп'ютера.

Обслуговування вважають закінченим, якщо не було збоїв при виконанні комплексу програм контролю функціонування комп'ютерної системи.

Таким чином, повне і якісне виконання всіх видів ТО – гарантія забезпечення високої готовності техніки до її використання за призначенням.

2.3. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на показники ремонтпридатності засобів спеціального зв'язку

У цьому підрозділі запропонований підхід до кількісної оцінки метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на час виконання перевірки параметрів ЗСЗ при ТО і поточному ремонті (ПР). У відомих роботах для цього використовують приблизні значення ймовірності безвідмовної роботи ЗВТ, що знижує точність отриманих результатів. Отримані результати дозволяють більш об'єктивно оцінити час виконання робіт та обґрунтовано обирати ЗВТ.

ЗСЗ безперервно удосконалюються в напрямку підвищення значень показників якості, що веде до збільшення кількості елементів, але необхідний час ТО і ПР залишається без змін. В відомих роботах показаний взаємозв'язок метрології і технічної діагностики, але відсутні рекомендації щодо обґрунтування вибору ЗВТ. Рішення цієї задачі формалізовано без врахування метрологічної надійності. Питання метрологічної надійності ЗВТ окремо розглянуто, а рекомендації щодо її врахування під час ТО і ПР ЗСЗ не доведено до практичного використання на вузлах зв'язку. При цьому використані приблизні значення ймовірності безвідмовної роботи ЗВТ. Тому мета підрозділу – кількісна оцінка впливу метрологічної надійності ЗВТ на час виконання вимірювань параметрів ЗСЗ під час ТО і ПР.

Під час ТО і ПР для визначення реального технічного стану ЗСЗ використовують ЗВТ. При цьому середній час відновлення (T_B) не повинен перевищувати припустиме значення ($T_{вп}$), що задається керівними документами

$$T_B = \frac{tK + t_y}{p^K \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$$

де t_i t_y – середній час виконання перевірки і усунення несправності, відповідно;

p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки залежно від виду ЗВТ;

N – кількість ЗВТ, що використовують під час ТО і ПР;

$P_i(\tau)$ – імовірність безвідмовної роботи ЗВТ виду i за міжповірочний інтервал τ ;

K – середня кількість перевірок для визначення технічного стану ЗСЗ.

При цьому значення $0,85 \leq P_i(\tau) \leq 0,99$ вибирають орієнтовно, що веде до суттєвих помилок у визначенні T_B .

Особливість експлуатації ЗВТ обумовлена забезпеченням її безвідмовності, переважно за прихованими метрологічними відмовами.

Негативні наслідки використання ЗВТ з метрологічними відмовами можуть бути надзвичайно великими і важко передбачуваними. В якості показників метрологічної надійності ЗВТ використовують імовірність $P_i(\tau)$ збереження значень метрологічних характеристик у заданих межах протягом міжповірного інтервалу τ .

Необхідний рівень метрологічної надійності суттєво залежить від сфери застосування ЗВТ і обирається з умови забезпечення необхідної ефективності обслуговуваних технічних пристроїв. Як правило, цей рівень для робочих ЗВТ становить 0,85 ... 0,90, а для зразкових 0,90 ... 0,99.

Кількісно імовірність збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ в конкретних умовах експлуатації можливо оцінити за виразом

$$P_i(\tau) = 1 - mK_MK_C ,$$

де m – еквівалентна кількість відмов при експлуатації

$$m = \tau K_B/T ,$$

де K_M – частка метрологічних характеристик ЗВТ, неохоплених вбудованим контролем;

K_C – статистична оцінка коефіцієнта прихованих відмов, яка характеризує частку метрологічних відмов;

K_B – середній коефіцієнт використання ЗВТ;

T – наробіток ЗВТ на відмову.

Значення τ отримують із керівних документів метрологічного забезпечення обслуговуваних технічних об'єктів або із технічного опису ЗВТ.

Відомо, що майстер з ремонту ЗСЗ безпосередньо займається її відновленням 900 годин на протязі року. В такому разі коефіцієнт використання ЗВТ на пункті технічного обслуговування та ремонту за рік експлуатації дорівнює

$$K_B = \frac{900}{8760} = 0,103 .$$

За результатами аналізу технічного опису та інструкції з експлуатації конкретних зразків ЗВТ визначають K_M .

Значення K_C залежно від призначення ЗВТ при відсутності статистичних даних результатів експлуатації приладів – аналогів визначають за усередненими показниками табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Усередненні значення коефіцієнта прихованих відмов залежно від ЗВТ

№ з/п	Назва параметру ЗСЗ і призначення ЗВТ	K_C
1.	Напруга	0,1
2.	Параметри компонентів електричних кіл із зосередженими постійними	0,21
3.	Потужність	0,23
4.	Параметри елементів і трактів з розподіленими постійними	0,22
5.	Частота і час	0,16
6.	Різниця фаз і груповий час запізнювання	0,2
7.	Форма сигналу і спектр	0,2
8.	Характеристики радіопристроїв	0,16
9.	Імпульсні сигнали	0,16
10.	Напруга поля і радіоперешкод	0,18
11.	Підсилювачі вимірювальні	0,15
12.	Генератори вимірювальні	0,2
13.	Ослаблення	0,21
14.	Електричні і магнітні властивості матеріалів	0,16
15.	Параметри коаксіальних і хвилевідних трактів	0,21
16.	Параметри радіоламп і напівпровідникових приладів	0,24

Наробіток на відмову ЗВТ також беруть із статистичних даних, а при їх відсутності із технічного опису приладів.

Середнє квадратичне відхилення оцінки імовірності збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ розраховують за виразом

$$\sigma = mK_M \sqrt{K_C(0,15K_C + 1/m)}.$$

Розглянемо використання приведених результатів на прикладі ЗВТ, що використовують під час ТО та ПР короткохвильової радіостанції Р-1150. Результати розрахунків приведено в табл. 2.2, за умови, що $\tau = 8760$ годин.

Таблиця 2.2

Кількісна оцінка показників метрологічної надійності ЗВТ, що використовуються під час обслуговування та ремонту радіостанції Р-1150

№ з/п	Засіб вимірювальної техніки	T , год	K_M	K_C	$P_i(\tau)$	σ
1.	Електровимірювальний багатофункціональний прилад Ц-4353	1500	1,0	0,21	0,877	0,353
2.	Вимірювач потужності МЗ-45	2000	1,0	0,23	0,899	0,319
3.	Частотомір ЧЗ-63	3000	0,5	0,16	0,976	0,217
4.	Вимірювач нелінійних спотворень С6-11	5000	0,1	0,16	0,997	0,054
5.	Мілівольтметр ВЗ-56	4000	1,0	0,10	0,978	0,148
6.	Генератор високочастотних сигналів Г4-151	5000	0,3	0,20	0,989	0,187

З врахуванням отриманих результатів в табл. 2.3 приведено часові показники виконання окремих операцій ТО короткохвильової радіостанції Р-1150 одним майстром. Тобто при врахуванні метрологічної надійності ЗВТ збільшується розрахунковий час виконання ТО на 5,5%.

Під час ПР короткохвильової радіостанції Р-1150 у випадку відмови вбудованої системи контролю пошук несправного типового елемента заміни виконують за умовним алгоритмом діагностування, що приведений на рис. 2.1.

Об'єкт складається з $L = 41$ елементу, необхідний час відновлення його працездатного стану $T_{вп} = 30$ хв. Бінарний умовний алгоритм діагностування забезпечує локалізацію дефекту після виконання $K = 6$ перевірок.

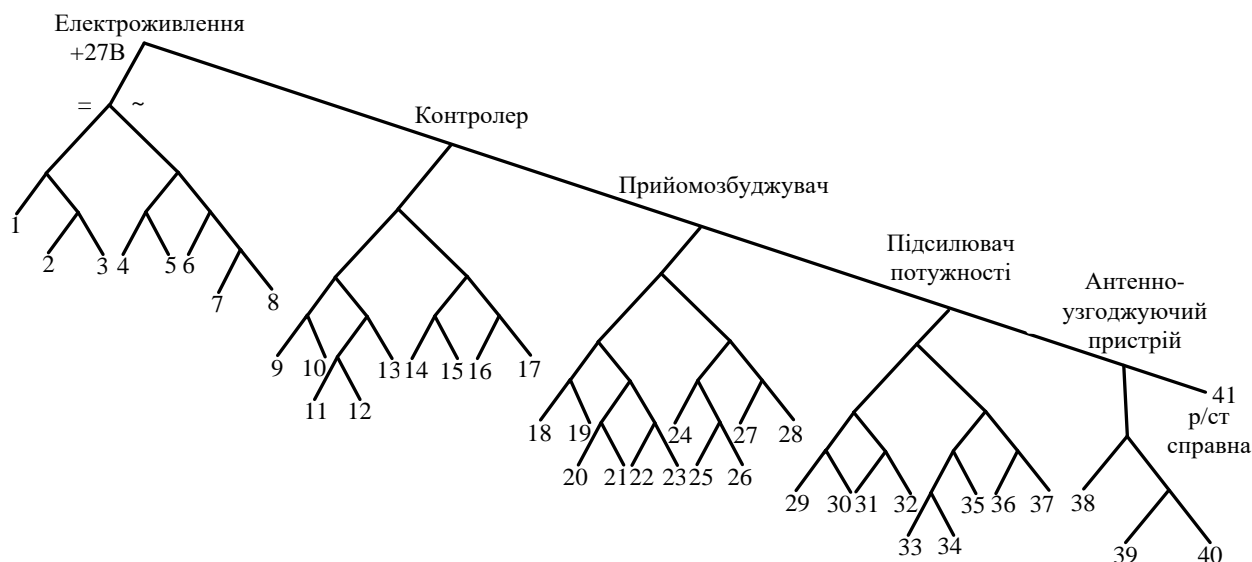


Рисунок 2.1 – Умовний алгоритм визначення технічного стану короткохвильової радіостанції Р-1150 при відмові вбудованої системи контролю

В цьому випадку при $t = 3$ хв і $t_y = 5$ хв та використані в якості ЗВТ аналогових вольтметрів Ц-4353 або В3-56 ($p = 0,845$) без врахування їх метрологічної надійності отримаємо

$$T_{в} = \frac{6 \cdot 3 + 5}{0,845^6} > T_{вп},$$

тобто цей варіант не відповідає вимогам.

Використання цифрового вольтметра зі складу С6-11 ($p = 0,9993$) дає позитивний результат навіть з врахуванням метрологічної надійності приладу

$$T_{в} = \frac{6 \cdot 3 + 5}{0,997 \cdot 0,9993^6} > T_{вп}.$$

Розглянемо ще приклад розрахунку T_b за умовним алгоритмом діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача великої потужності, що приведений на рис. 2.2. В цьому випадку також $t = 3$ хв, $t_y = 5$ хв. При відмові у відомому режимі роботи $K = 2$ і $T_b \leq 30$ хв.

Таблиця 2.3

Перелік вимірюваних параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

№ з/п	Параметр	ЗВТ	p_i	Час вимірювання, год.	
				Згідно інструкції	З врахуванням метрологічної надійності
1.	Чутливість	С6-11	0,9993	2,33	2,36
		Г4-151	0,834		
2.	Потужність	М3-45	0,95	3,00	3,34
3.	Діапазон ручного регулювання посилення	В3-56	0,85	0,25	0,26
		Г4-151	0,834		
4.	Діапазон автоматичного регулювання посилення	В3-56	0,85	0,16	0,16
		Г4-151	0,834		
5.	Частота опорного генератору	ЧЗ-63, годинник	0,9985	0,25	0,26
6.	Нерівномірність АЧХ приймального тракту	Г4-151	0,834	1,15	1,19
		В3-56	0,85		
7.	Нелінійні спотворення приймального тракту	Г4-151	0,834	1,15	1,17
		С6-11	0,9993		
8.	Електроживлення	Ц-4353	0,845	0,08	0,09
Загальний час виконання, год				8,37	8,83

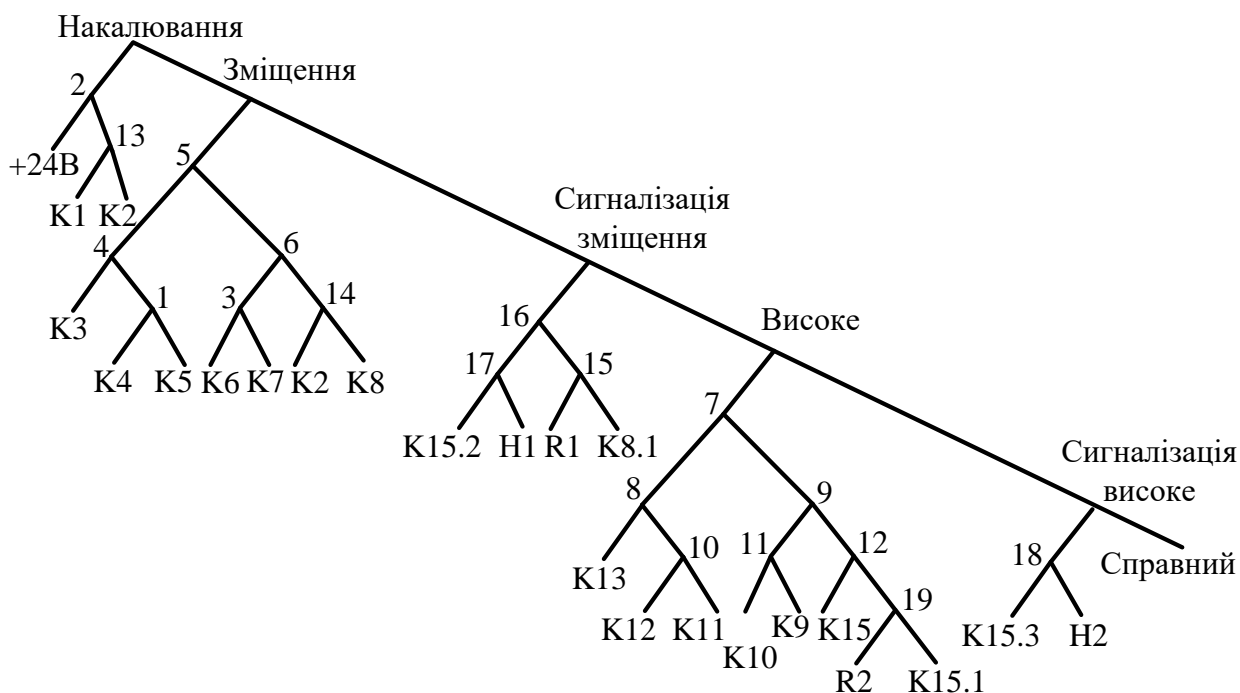


Рисунок 2.2 – Умовний алгоритм діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача

Використання електровимірювального багатофункціонального приладу Ц-4353 без врахування метрологічної надійності приводить до результату:

$$T_{\text{в}} = \frac{2 \cdot 3 + 5}{0,845^6} = 15 \text{ хв} < T_{\text{вп}},$$

а з врахуванням метрологічної надійності приладу отримаємо:

$$T_{\text{в}} = \frac{2 \cdot 3 + 5}{0,877 \cdot 0,845^2} = 17 \text{ хв} < T_{\text{вп}},$$

що на 13% більше, ніж в попередньому випадку.

Таким чином встановлено, що врахування метрологічної надійності ЗВТ при оцінці часу виконання ТО і ПР ЗСЗ суттєво підвищує точність отриманих результатів.

Отримані результати доцільно використовувати в відомих методиках, що дозволить більш об'єктивно оцінити час виконання робіт та обґрунтовано обирати ЗВТ з мінімально необхідними значеннями метрологічних характеристик для зниження вартості ТО і ПР ЗСЗ.

2.4. Моделювання порядку перевірки параметрів при технічному обслуговуванні за станом радіоелектронних засобів

В підрозділі розглянуто особливості технічного обслуговування РЕЗ великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, перевірку працездатності яких, технічне обслуговування та відновлення працездатності під час поточного ремонту можна виконувати автономно. Запропоновано для підвищення ефективності технічного обслуговування за станом (ТОС) РЕЗ великої розмірності встановлювати послідовність перевірки підсистем, враховуючи їх надійність, метрологічну надійність ЗВТ, тривалість виконання перевірок і усунення несправностей, ймовірність правильної оцінки фахівцем результату вимірювання значення параметру. Обґрунтовано необхідну кількість перевірок параметрів найбільш важливих і найменш надійних підсистем для забезпечення заданого значення ймовірності оцінки технічного стану (ТС) РЕЗ за мінімальний час. Наведено приклад використання результатів і формалізовано порядок їх реалізації.

ТО виробів – комплекс операцій чи операція підтримання справності або працездатності впродовж технічної експлуатації, що передбачає перевірку на відповідність значень параметрів технічним умовам.

Розрізняють наступні принципи реалізації ТО: календарний, за напрацюванням, комбінований або за станом.

Третя стратегія реалізації ТО є пріоритетною на даний час. При її реалізації виникає проблема: в якій послідовності виконувати перевірку параметрів комплексу для визначення його реального технічного стану за мінімальний час.

Сучасні публікації в галузі технічної експлуатації складних систем свідчать про те, що є необхідність наукового аналізу і обґрунтування конкретних рекомендацій для практичного впровадження ТОС.

В відомих роботах запропоновано визначати послідовність перевірок параметрів залежно від часу і вартості їх виконання, важливості впливу параметру на працездатність виробу та ймовірності помилки виконавця в оцінці значення параметру.

За останні роки проведено дослідження в галузі метрології та показано вплив метрологічної надійності на час виконання ТО. Зазначену обставину враховано, але відсутня реальна оцінка ТС виробу після виконання встановленої послідовності перевірок. Крім того, під час ТО використовують фіксовані кількість і склад засобів вимірювань, тому врахування вартості перевірок є надлишковим.

Таким чином, є актуальною задача обґрунтування порядку перевірки параметрів при ТОС РЕЗ великої розмірності, до яких відносяться ЗСЗ.

Комплексний коефіцієнт необхідності виконання перевірки параметру. Ймовірність відмов окремих підсистем РЕЗ має вигляд

$$p_i = \frac{z_i}{\sum_{j=1}^M z_j} = z_i T, \quad \sum_{i=1}^M p_i = 1,$$

де z_i – параметр потоку відмов підсистеми i ;

M – кількість підсистем РЕЗ;

T – напрацювання РЕЗ на відмову.

Значимість впливу підсистеми i на працездатність РЕЗ v_i (можливе функціонування з частковою втратою якості) оцінюють за результатами обробки статистичних даних експертного опитування провідних фахівців галузі відомими методами, при цьому

$$\sum_{i=1}^M v_i = 1.$$

Відносні працевитрати τ_i та час відновлення підсистем f_i також розраховують з використанням вихідних даних про ТО і ПР РЕЗ:

$$\tau_i = \frac{t_i}{\sum_{j=1}^M t_j}, \quad \sum_{i=1}^M \tau_i = 1, \quad f_i = \frac{t_{Bi}}{\sum_{j=1}^M t_{Bj}}, \quad \sum_{i=1}^M f_i = 1,$$

де t_i – час виконання перевірки підсистеми i ;

t_{Bi} – середній час відновлення підсистеми i .

Метрологічну надійність ЗВТ для перевірки параметрів підсистеми i оцінюють так:

$$P_{zi} = \prod_{j=1}^{m_i} P_{Mj},$$

де m_i – кількість ЗВТ для перевірки підсистеми i ;

P_{Mj} – метрологічна надійність ЗВТ для перевірки параметра j .

Значення ймовірності помилки фахівця q_i при оцінці параметрів системи i визначають залежно від ЗВТ, які при цьому використовують. У такому випадку комплексний показник, який впливає на вибір підсистеми для перевірки, має вигляд

$$u_i = \frac{P_{zi} v_i p_i}{\tau_i f_i q_i}.$$

Це безрозмірна величина, що дозволяє виявити найменш надійні підсистеми РЕЗ, які потребують мінімального часу на перевірку та відновлення, але здійснюють найбільший вплив на якість функціонування РЕЗ в цілому. Значення u_i змінюється в досить широких межах, тому для ранжування порядку перевірки підсистеми РЕЗ доцільно використовувати нормовану ймовірність переважного вибору:

$$U_i = \frac{u_i}{\sum_{j=1}^M u_j}, \quad \sum_{i=1}^M U_i = 1.$$

В подальшому підсистеми ранжують в порядку зменшення значення U_i . Після перевірки $1 \leq n \leq M$ підсистем ймовірність справного стану РЕЗ (при справності усіх перевірених підсистем) має вигляд

$$P(n) = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{L}, \quad L = \sum_{i=1}^M L_i,$$

де L_i – кількість елементів підсистеми i ;

L – загальна кількість елементів РЕЗ.

Блок-схему алгоритму реалізації отриманих результатів для визначення раціональної послідовності перевірки підсистем РЕЗ наведено на рис. 2.3.

При обмеженому часі ТО в екстремальній ситуації процес перевірки підсистем завершується після виконання умови $P(n) \geq P_{\text{доп}}$, $n = \overline{1, M}$, де $P_{\text{доп}}$ – мінімальне допустиме значення оцінки технічного стану основних підсистем РЕЗ, які забезпечують його працездатність.

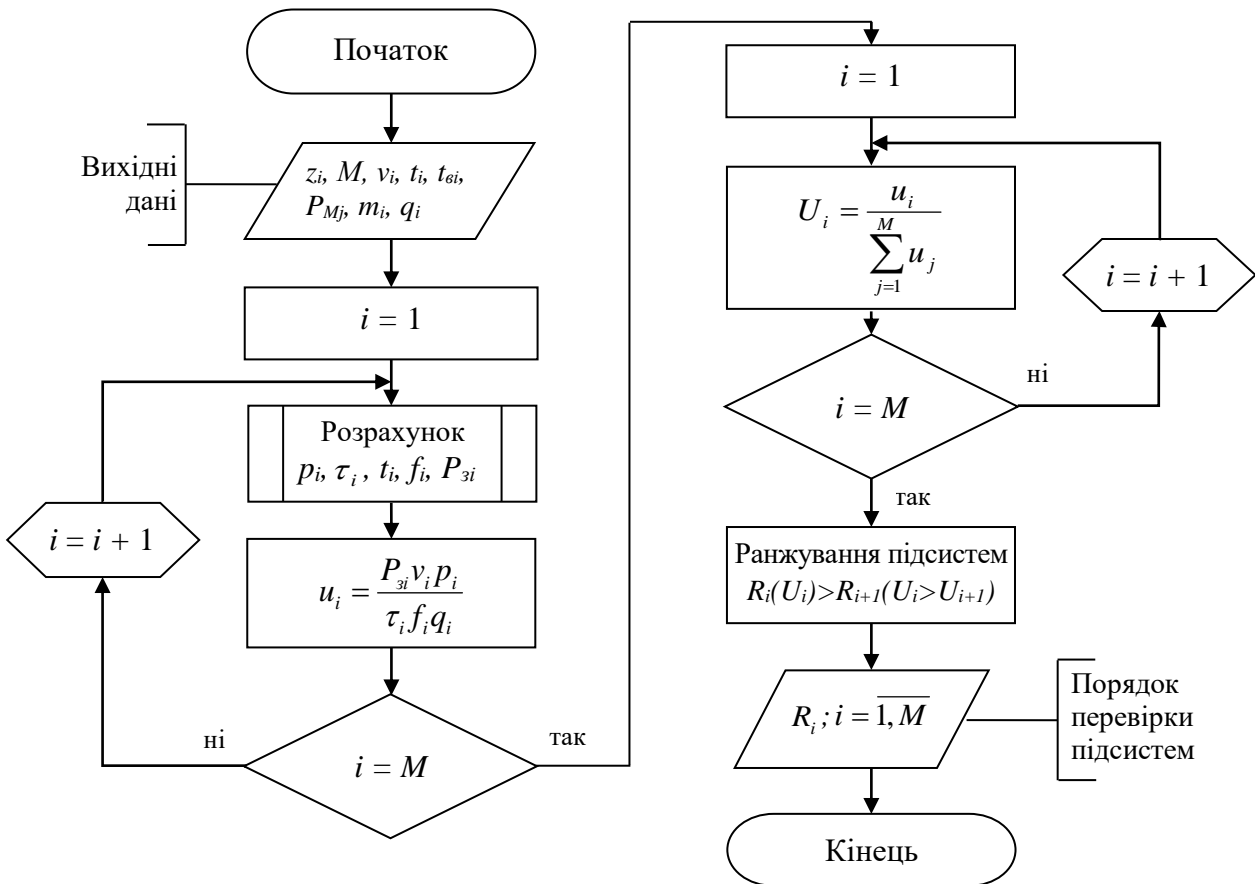


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму визначення послідовності перевірки підсистем РЕЗ під час технічного обслуговування за станом: R_i – ранг перевірки підсистеми i

Залежно від умов експлуатації РЕЗ в якості критерію завершення перевірки можна використовувати заздалегідь задане значення напрацювання на відмову перевірених найменш надійних підсистем $T(n) \geq T_{\text{доп}}$ або критерію сумісності (рис. 2.4) $P(n) \geq P_{\text{доп}}$, $T(n) \geq T_{\text{доп}}$.

Моделювання порядку перевірки параметрів при ТО за станом РЕЗ.

Розглянемо використання отриманих результатів на прикладі РЕЗ, схему якого наведено на рис. 2.5. Об'єкт складається із $M = 11$ підсистем, перевірку яких можна виконувати автономно з використанням штатного комплекту ЗВТ. Вихідні дані для моделювання послідовності перевірки систем наведено в табл. 2.4, де δ_i – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки ($q_i = 1 - \delta_i$). Результати моделювання наведено в табл. 2.5.

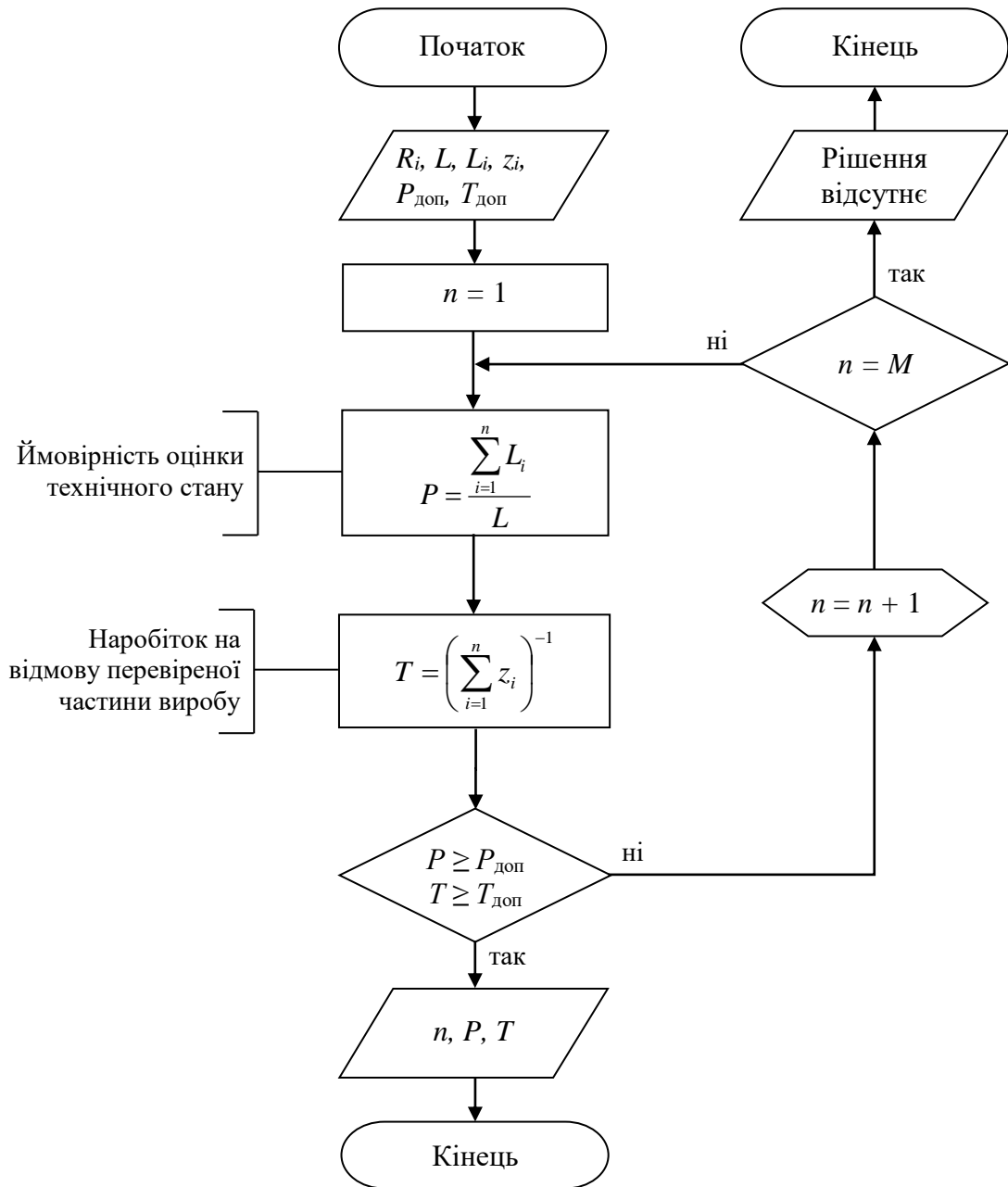


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму визначення мінімально необхідної кількості перевірених підсистем РЕЗ під час ТО за станом

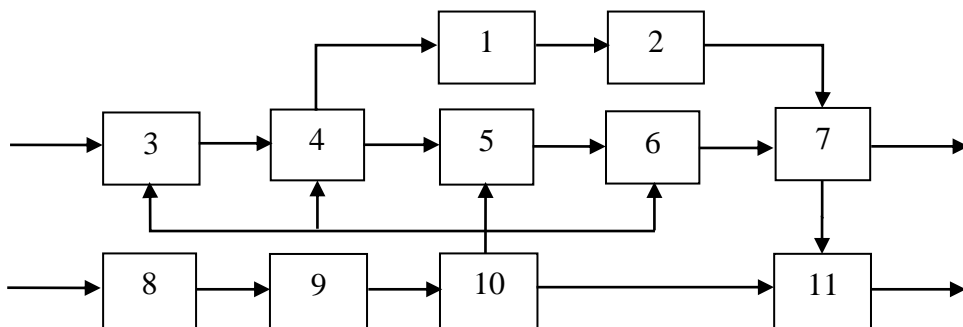


Рисунок 2.5 – Схема з'єднання підсистем РЕЗ

Вихідні дані підсистем РЕЗ

i	$z_i \cdot 10^{-6} 200\delta^{-1}$	$t, x\epsilon$	$t_{\epsilon i}, x\epsilon$	δ_i	P_{zi}	v_i	L_i	q_i
1	4	15	10	0,942	0,85	0,025	80	0,058
2	4	15	12	0,931	0,88	0,025	120	0,069
3	10	20	15	0,910	0,81	0,050	370	0,090
4	10	20	20	0,988	0,79	0,050	410	0,012
5	6	10	11	0,945	0,91	0,050	350	0,055
6	7	10	8	0,956	0,88	0,050	430	0,044
7	6	10	16	0,912	0,93	0,050	330	0,088
8	25	30	25	0,980	0,95	0,200	110	0,020
9	4	15	22	0,982	0,89	0,200	70	0,018
10	4	15	18	0,901	0,87	0,200	510	0,099
11	20	25	24	0,985	0,88	0,100	360	0,015

Таблиця 2.5

Результати моделювання послідовності виконання перевірок підсистем РЕЗ

i	τ_i	f_i	p_i	u_i	U_i	R_i
1	0,054	0,055	0,04	4,934	0,0158	9
2	0,065	0,066	0,04	2,973	0,0095	11
3	0,082	0,083	0,10	6,612	0,0212	8
4	0,108	0,110	0,10	27,707	0,0888	4
5	0,059	0,061	0,06	13,792	0,0442	6
6	0,043	0,044	0,07	36,998	0,1186	3
7	0,086	0,088	0,06	4,189	0,0134	10
8	0,145	0,138	0,25	118,691	0,3805	1
9	0,119	0,121	0,04	27,471	0,0881	5
10	0,097	0,099	0,04	7,321	0,0235	7
11	0,142	0,135	0,20	61,207	0,1964	2

На рис. 2.6 наведено графіки залежностей ймовірності правильної оцінки технічного стану РЕК від послідовності перевірки підсистем РЕЗ, а на рис. 2.7 – графіки залежності напрацювання на відмову перевірених n підсистем. За результатами порівняльного аналізу при $P_{\text{доп}} \geq 0,85$ отримуємо $n_1 = n_2 = 10, n_3 = 9$, тобто скорочення кількості перевірених підсистем складає $\eta = 10\%$ (див. рис. 2.6). При $T_{\text{доп}} \geq 15000$ год достатньо перевірити $n_3 = n_2 = 5$ підсистем у порівнянні з $n_1 = 8$ отримуємо вигащ у 37%. Тобто використання отриманих результатів для ранжування підсистем РЕЗ під час ТОС в усіх випадках забезпечує вигащ внаслідок того, що в першу чергу перевіряють найменш надійні підсистеми, які найбільш важливі для функціонування виробу.

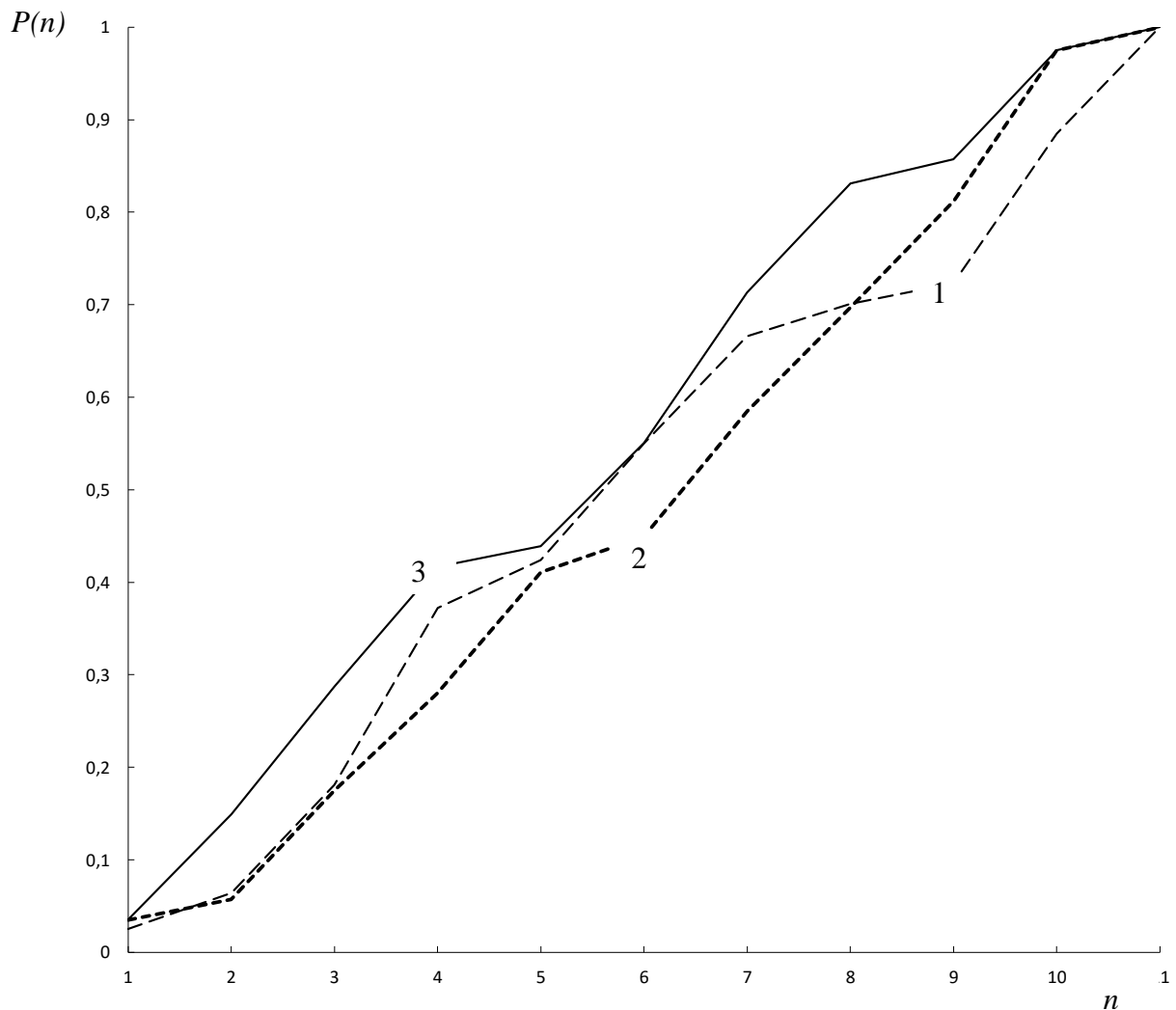


Рисунок 2.6 – Графіки залежності ймовірності правильної оцінки технічного стану РЕЗ від кількості перевірених підсистем: 1 – перевірка підсистем згідно з порядковими номерами; 2 – перевірка підсистем згідно їх ранжування за відомими рекомендаціями; 3 – перевірка підсистем після їх ранжування за даними табл. 2.5.

Практична реалізація отриманих результатів дозволяє підвищити ефективність технічного обслуговування в реальних умовах експлуатації РЕЗ за допомогою впорядкування технології виконання робіт.

Розроблений алгоритм дозволяє визначати послідовність виконання перевірок і їх завершення залежно від вимог щодо ймовірності правильної оцінки технічного стану перевірених підсистем.

Отримані результати доцільно використовувати під час розробки технологічної документації щодо ТОС РЕЗ великої розмірності.

Подальші дослідження слід направити на розробку методики визначення послідовності і кількості перевірок при обслуговуванні існуючих і перспективних РЕЗ великої розмірності за станом, до яких відносяться ЗСЗ.

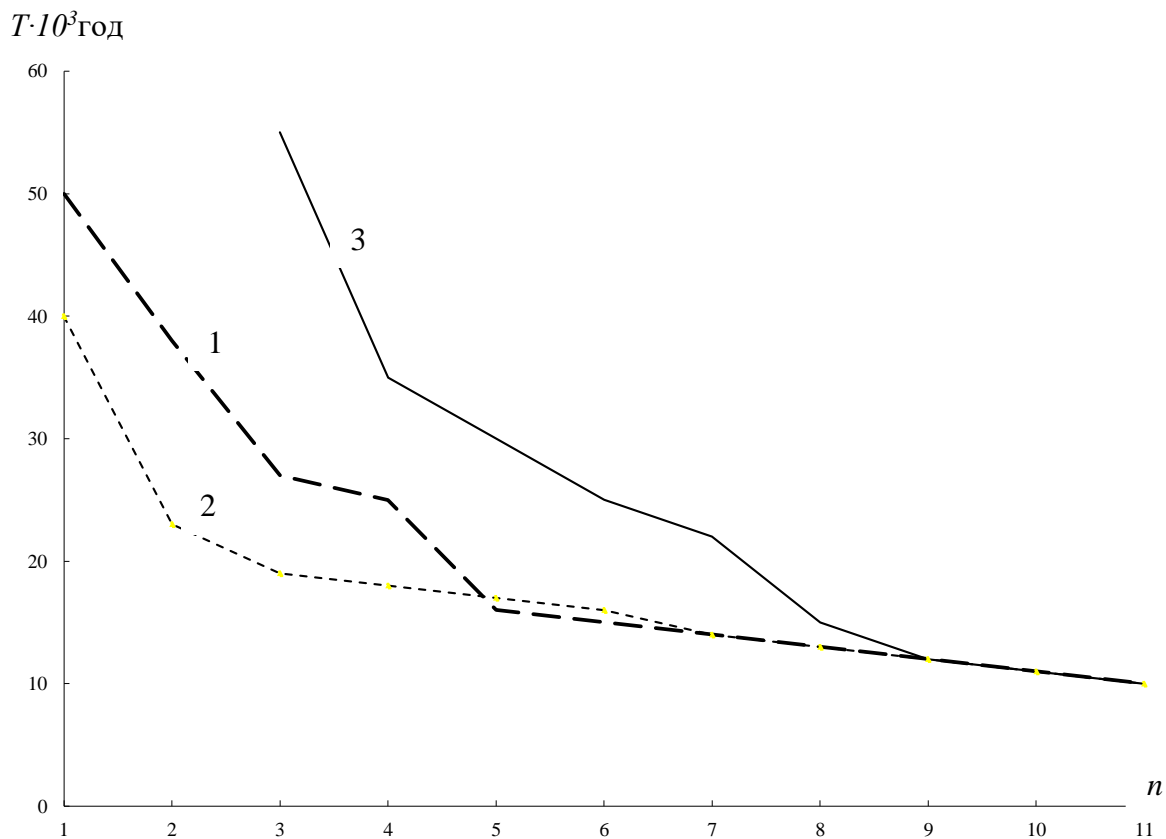


Рисунок 2.7 – Графіки залежності напрацювання на відмову перевірених підсистем РЕЗ від їх кількості: 1 – перевірка підсистем згідно з порядковими номерами; 2 – перевірка підсистем згідно їх ранжування за відомими рекомендаціями; 3 – перевірка підсистем після їх ранжування за даними табл. 2.5.

2.5. Метод визначення послідовності перевірки радіоелектронних засобів при технічному обслуговуванні за станом

В підрозділі розглянуті особливості технічного обслуговування радіоелектронних засобів великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, перевірку працездатності яких, технічне обслуговування та відновлення працездатності під час ПР можливо виконувати автономно. До таких об'єктів відносяться вузли і апаратні зв'язку, радіолокаційні станції, комплекси управління польотами та інші. В підрозділі вперше запропоновано для підвищення ефективності ТОС обґрунтовано встановлювати послідовність перевірки підсистем з комплексним врахуванням надійнісних, часових та вартісних показників. Крім того, запропоновано враховувати не тільки вартість ЗВТ, але і їх метрологічну надійність. Залежно від умов використання ЗСЗ за призначенням, означені показники можуть мати різний вплив на ефективність технічної експлуатації, що запропоновано враховувати введенням коефіцієнтів, значення яких в кожному окремому випадку отримують в результаті обробки матеріалів експертного опитування провідних фахівців в цій галузі.

Усі перераховані фактори об'єднуються комплексним показником, значення якого розраховують для кожної підсистеми ЗСЗ. Для нормування значення комплексного показника вводиться ймовірність переважного вибору підсистем ЗСЗ. Потім в результаті ранжування підсистем за убутанням значення цієї ймовірності визначають послідовність перевірки окремих підсистем комплексу. В такому випадку, крім послідовності перевірки, можливо визначити мінімальну кількість підсистем, що перевіряються, для забезпечення необхідного значення ймовірності оцінки ТС виробу в цілому.

В підрозділі приведено блок-схему алгоритму реалізації методу, що дозволяє використовувати ЕОМ для автоматизації процесу. Приведений приклад використання методу і кількісна оцінка ефективності його застосування. Використання запропонованого методу приведе до впорядкування практичної реалізації ТОС і підвищення його ефективності в реальних умовах експлуатації ЗСЗ великої розмірності.

Технічне обслуговування є складовою експлуатації виробів та передбачає, головним чином, перевірку на відповідність параметрів технічним умовам.

Стратегія ТОС – це стратегія, згідно з якою перелік та періодичність операцій ТО визначається фактичним ТС виробу в момент початку обслуговування. Вона ґрунтується на використанні поточної інформації про дійсний стан об'єкта, яка отримується в процесі його експлуатації. При цій стратегії ТО всі види профілактичних робіт на об'єкті проводяться в строк та в обсязі, який встановлюється в результаті прийняття рішення заданими поточного контролю.

В ході реалізації цієї стратегії виникає проблема: в якій послідовності виконувати перевірку підсистем комплексу для визначення його реального стану з мінімальними працевитратами. Виконання робіт при обмеженому часі дуже важливо в польових умовах, особливо в бойових діях. Вирішення цієї проблеми раніше не розглядалось, саме цьому присвячений цей підрозділ.

Таким чином, постає задача розробки методу визначення послідовності перевірок виробів при їх ТОС, яка мінімізує експлуатаційні витрати. При цьому відомі значення надійності підсистем, часових та вартісних показників виконання перевірок, які необхідно об'єднати в комплексний показник для ранжування порядку перевірки підсистем ЗСЗ. Це дозволить мінімізувати кількість підсистем, які перевіряють під час ТО для встановлення технічного стану виробу із заданою ймовірністю. Обмеження і припущення відповідають реальним умовам експлуатації.

Фундаментальні теоретичні дослідження питань оптимізації виконання ТО отримано раніше, які в подальшому отримали розвиток в роботах з підвищення експлуатаційної надійності виробів. В них показано, що при організації експлуатації виробів за станом виникають наступні завдання:

вибір мінімально необхідної кількості параметрів, що контролюються, з

достатньою інформацією про стан системи в будь-який момент часу;
 обґрунтування допустимих меж зміни параметрів, що контролюються;
 розробка алгоритмів математичного забезпечення програм експлуатації
 виробів за станом;
 створення технічних засобів контролю, діагностування, реєстрації
 оперативної обробки інформації про стан параметрів виробу.

У відомих роботах розглянуто особливості реалізації стратегії ТОС з контролем параметрів об'єкта або рівня його надійності. Також обґрунтовано критерії якості ТО: ефективність обслуговування; коефіцієнт ефективності обслуговування; вартість ТО; коефіцієнт вартості експлуатації; коефіцієнт простою при ТО; коефіцієнт технічного використання.

Також проведено аналіз особливості ТО систем з часовою надлишковістю і запропоновані заходи щодо підвищення їх надійності.

В сучасних роботах з технічної діагностики РЕЗ для визначення послідовності перевірок, яка веде до скорочення часу локалізації дефекту, досить широко використовують ймовірність переважного вибору (ЙПВ) параметрів елемента:

$$u_i = \frac{\lambda_i}{t_i \sum_{j=1}^L \frac{\lambda_j}{t_j}},$$

де λ_i – інтенсивність відмов елемента;
 t_i – час виконання перевірки;
 L – кількість елементів в об'єкті.

Запропоновано для скорочення часу ТО виконувати перевірку параметрів виробу в порядку зменшення їх ЙПВ:

$$u_i = \frac{T_{ТО} C_{ТО} V_i P_i}{t_i C_i q_i},$$

де $T_{ТО}$, $C_{ТО}$ – тривалість та вартість ТО згідно з інструкцією;
 V_i – значимість впливу параметру i на працездатність виробу;
 P_i – ймовірність того, що виріб працездатний, якщо параметр i в нормі;
 t_i , C_i – тривалість та вартість вимірювання значення параметру i ;
 q_i – ймовірність помилки виконавця в оцінці значення параметру i .

Крім того, досліджена залежність впливу метрологічної надійності ЗВТ на час виконання ТО об'єктів різноманітного призначення, яку в попередніх роботах щодо оптимізації часу виконання ТО не враховано.

З проведеного аналізу слідує, що сьогодні найбільш доцільно використовувати ТОС складних РЕЗ, при цьому необхідно комплексно враховувати надійнісні, часові вартісні показники перевірки окремих підсистем, а також метрологічну надійність ЗВТ. Для цього необхідно

обґрунтувати кількісний показник оцінки ЙПВ підсистем виробу з метою їх подальшого ранжування в порядку зменшення цього показника.

Метою підрозділу – є розгляд дослідження процесу визначення послідовності перевірок підсистем ЗСЗ з врахуванням їх надійності, часових та вартісних показників для мінімізації часу і працевитрат на встановлення реального технічного стану об'єкту.

Метод призначений для формування послідовності перевірки працездатності підсистем ЗСЗ великої розмірності, які складаються з десятків і сотень тисяч радіоелементів.

Сутність методу полягає в комплексному врахуванні показників надійності підсистем, вартості і часу перевірки їх працездатності, часу усунення несправності (або резервування підсистем), а також метрологічної надійності ЗВТ, в цьому полягає наукова новизна і відмінність його від відомих.

Вихідні дані для реалізації методу отримують в результаті дослідної експлуатації РЕЗ.

Схема реалізації приведена на рис. 2.8, де також показаний математичний апарат, результат використання, обмеження і припущення.



Рисунок 2.8 – Схема реалізації методу ранжування підсистем комплексу для перевірки працездатності з врахуванням надійності, часових та вартісних факторів

ЗСЗ складається із M взаємопов'язаних підсистем (кластерів), при цьому допускається автономна перевірка їх працездатності. Для інструментальної перевірки значень параметрів використовується штатний комплект ЗВТ, який в

сукупності дозволяє оцінити працездатність всіх підсистем комплексу. Послідовність перевірки підсистем повинна бути такою, що в першу чергу необхідно перевіряти найменш надійні підсистеми, які потребують мінімальних працевитрат на вимірювання параметрів і усунення несправностей (при наявності запасних агрегатів можлива організація ремонту агрегатним методом) з мінімальною вартістю ЗВТ, що використовуються, і максимально можливим значенням їх метрологічної надійності. Крім того, в залежності від умов експлуатації і вимог користувачів послуг ЗСЗ вводяться коефіцієнти, які враховують важливість складових комплексного показника кожної підсистеми. Результати обробки даних експертних опитувань фахівців в галузі технічної експлуатації складних систем показали, що найбільшу вагу має середній час усунення несправностей ($k = 0,4$), потім надійність підсистеми ($a = 0,3$), вартість ЗВТ ($d = 0,2$), трудоємність перевірки ($b = 0,1$). Значення вагових коефіцієнтів розраховані за відомими методиками.

Надійність кожної підсистеми РЕК розраховують за формулою

$$p_i = \frac{az_i}{\sum_{j=1}^L z_j} = az_i T,$$

де z_i – параметр потоку відмов підсистеми i ;

T – напрацювання РЕЗ на відмову.

Якщо підсистеми РЕЗ виконані на однотипній елементній базі, то можливо використовувати вираз

$$p_i = a \frac{L_i}{L}, \quad L = \sum_{i=1}^M L_i,$$

де L_i – кількість електрорадіоелементів підсистеми i , а L – їх загальна кількість в РЕЗ.

В такому випадку p_i/a – ймовірність відмови підсистеми i при відмові РЕЗ, тоді

$$\frac{1}{a} \sum_{i=1}^M p_i = 1.$$

Відносна трудоємність перевірок стану підсистем дорівнює

$$\tau_i = \frac{bt_i}{\sum_{j=1}^M t_j}, \quad \frac{1}{b} \sum_{i=1}^M \tau_i = 1,$$

де τ_i – трудоємність (час) перевірки параметрів підсистеми.

Відносна вартість ЗВТ для перевірки параметрів підсистеми i дорівнює

$$S_i = \frac{dC_i}{\sum_{j=1}^M C_j}, \quad \frac{1}{d} \sum_{i=1}^M S_i = 1,$$

де C_i – вартість ЗВТ для перевірки працездатності підсистеми i .

Відносний час відновлення (заміни або резервування) підсистеми i

$$f_i = \frac{kt_{bi}}{\sum_{j=1}^M t_{bj}}, \quad \frac{1}{k} \sum_{i=1}^M f_i = 1,$$

де t_{bi} – час відновлення підсистеми i .

Для визначення послідовності перевірки підсистем РЕЗ при його ТОС пропонується для кожної підсистеми оцінити значення комплексного показника, що враховує всі розглянуті складові

$$u_i = \frac{p_i P_{zi}}{\tau_i S_i f_i}, \quad P_{zi} = \prod_{j=1}^{m_i} P_{Mj},$$

де P_{zi} – метрологічна надійність ЗВТ для перевірки підсистеми i ;

m_i – кількість ЗВТ для перевірки підсистеми i ;

P_{Mj} – метрологічна надійність окремих ЗВТ для перевірки підсистеми i .

Значення u_i – безрозмірне і сильно відрізняється для різноманітних підсистем РЕЗ. Тому для ранжування підсистем доцільно використовувати їх ЙПВ перевірки

$$U_i = \frac{u_i}{\sum_{j=1}^M u_j}, \quad \sum_{i=1}^M U_i = 1.$$

Підсистеми РЕЗ перевіряють в послідовності збування значень U_i . При заданому значенні ймовірності визначення технічного стану РЕЗ P_d підсистеми перевіряються згідно встановленого рангу до виконання умови

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i}{\sum_{i=1}^M u_i} \geq P_d, \quad 1 \leq n \leq M,$$

де n – кількість перевірених підсистем РЕЗ при ТОС.

В такому випадку необхідний мінімальний час для перевірки РЕК

$$T_n = \sum_{i=1}^n t_i,$$

а вираш у відносному часі в порівнянні з повною перевіркою підсистем РЕЗ складає

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^M t_i - T_n}{\sum_{i=1}^M t_i} \cdot 100\%.$$

Блок-схема реалізації запропонованого методу ранжування підсистем РЕЗ при ТО приведена на рис. 2.9.

Розглянемо порядок використання методу на прикладі комплексу, приведенного в табл. 2.6, де показані вихідні дані і результати проміжних обчислень.

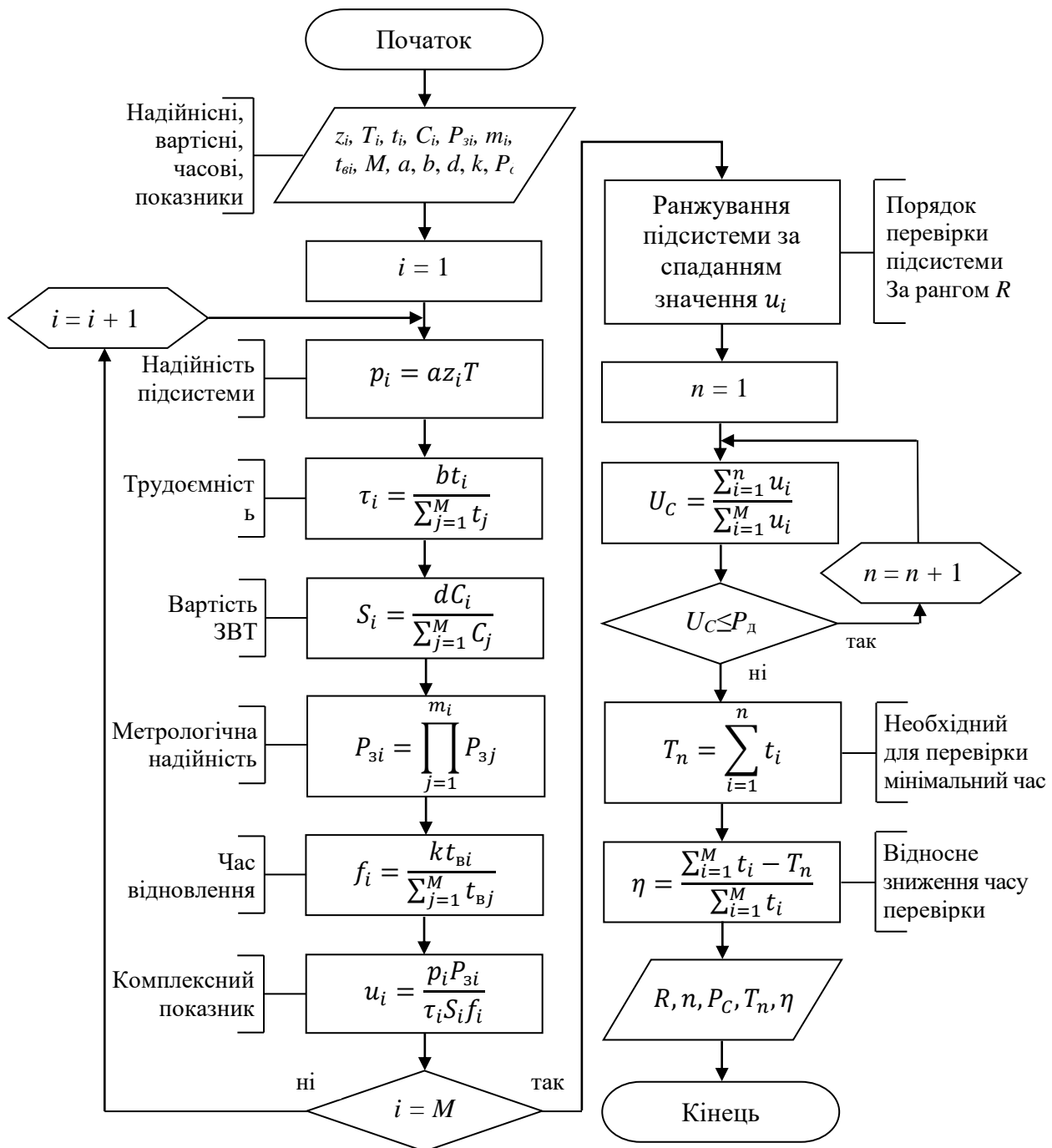


Рисунок 2.9 – Блок-схема реалізації методу ранжування підсистем комплексу при обслуговуванні за станом

РЕЗ складається з $M = 11$ підсистем, r_i – ранг підсистеми (порядковий номер перевірки). Наробіток на відмову РЕЗ $T = 1000$ год, параметр потоку відмов

$$z = 1 \cdot 10^{-4} \text{год}^{-1}.$$

Таблиця 2.6

Приклад розрахунку показників підсистем комплексу для обслуговування за станом

i	$z_i, \text{год}^{-1}$	$T_i, \text{хв}$	$C_i, \text{грн}$	$t_{ei}, \text{хв}$	P_{zi}	p_i	τ_i	S_i	f_i	u_i	
1	$4 \cdot 10^{-6}$	15	2500	10	0,85	0,012	0,0811	0,02463	0,0221	1229,153	9
2	$4 \cdot 10^{-6}$	15	2000	12	0,88	0,012	0,0811	0,0197	0,02652	2492,317	8
3	$10 \cdot 10^{-6}$	20	1000	15	0,81	0,03	0,0108	0,00985	0,03315	68906,904	1
4	$10 \cdot 10^{-6}$	20	1200	20	0,79	0,03	0,0108	0,01182	0,0442	41992,7783	2
5	$6 \cdot 10^{-6}$	10	1800	11	0,91	0,018	0,0054	0,0173	0,0243	7038,938	6
6	$7 \cdot 10^{-6}$	10	2100	8	0,88	0,021	0,0054	0,02069	0,0177	9336,25	4
7	$6 \cdot 10^{-6}$	10	1200	16	0,93	0,018	0,0054	0,01182	0,0353	7410,793	5
8	$25 \cdot 10^{-6}$	30	1500	25	0,95	0,075	0,01621	0,01477	0,05525	5386,28	7
9	$4 \cdot 10^{-6}$	15	3500	22	0,89	0,012	0,00810	0,03448	0,04862	785,65	11
10	$4 \cdot 10^{-6}$	15	3000	18	0,87	0,012	0,00810	0,02955	0,03978	1095,11	10
11	$20 \cdot 10^{-6}$	25	500	24	0,88	0,06	0,01351	0,00492	0,05304	14954,924	3

Сумарний час перевірки всіх підсистем $\sum_{i=1}^{11} t_i = 185$ хв, загальна вартість використаних ЗВТ $\sum_{i=1}^{11} C_i = 20300$ грн, загальний час відновлення при відмові всіх підсистем $\sum_{i=1}^{11} t_{vi} = 181$ хв.

Результати розрахунку ЙПВ підсистем РЕЗ наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Оцінка ймовірності переважного вибору і порядку (рангу) перевірки підсистеми комплексу

Номер підсистеми	Комплексний показник	Ймовірність переважного вибору	Ранг підсистеми
1	1229	0,00765	9
2	2492	0,01551	8
3	68907	0,42899	1
4	41993	0,26144	2
5	7039	0,04401	6
6	9336	0,05812	4
7	7411	0,04614	5
8	5386	0,03350	7
9	786	0,004899	11
10	1095	0,00682	10
11	14955	0,093106	3

На рис. 2.10 показана ймовірність оцінки технічного стану РЕЗ при перевірці підсистем за порядковими номерами (1) і після їх ранжування (2). При заданій ймовірності $P_d = 0,9$ отримуємо, що в першому випадку необхідно перевірити 9 підсистем, а в другому всього 6, тобто виграш складає 33,3%.

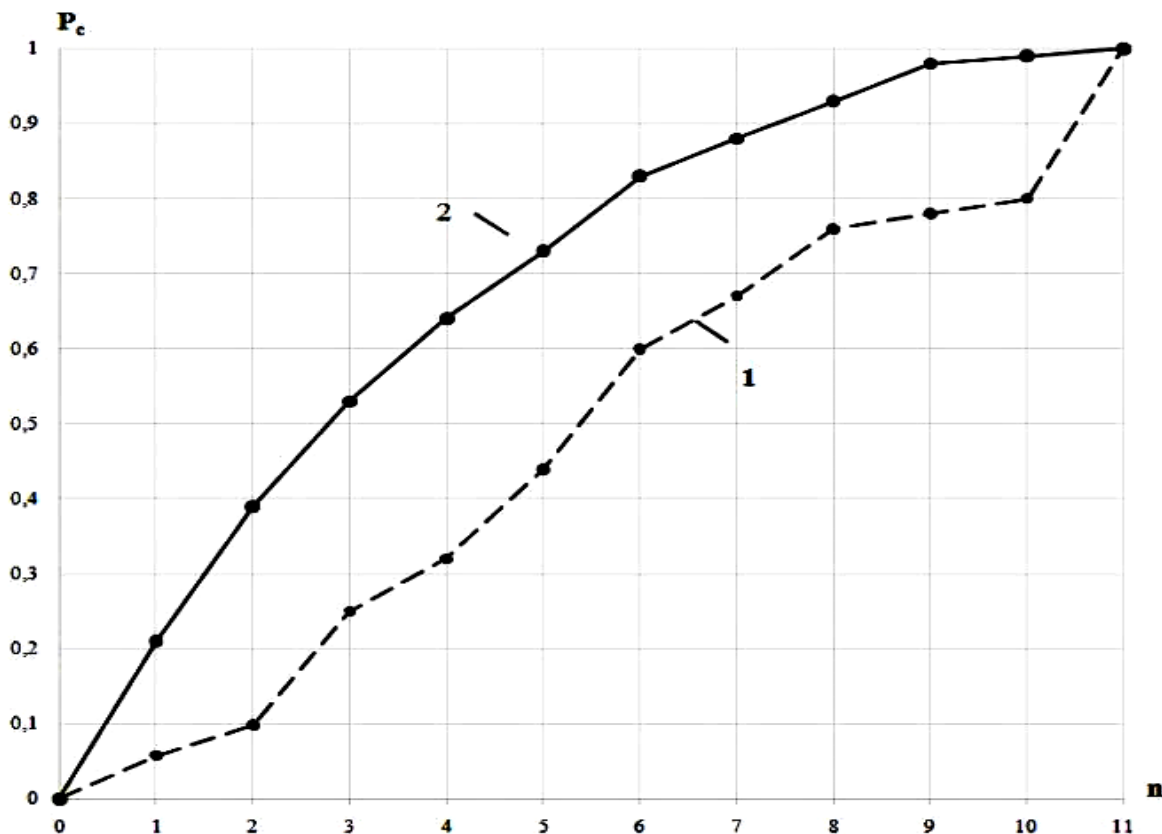


Рисунок 2.10 – Ймовірність оцінки технічного стану РЕЗ при перевірці підсистем за порядковими номерами (1) і після їх ранжування (2)

Так як в першу чергу перевіряються найменш надійні підсистеми РЕЗ, то зрозуміло, що ймовірність безвідмовної роботи (рис. 2.11) і напрацювання на відмову (рис. 2.12) перевірених підсистем буде менше, ніж при перевірці за їх номерами.

Наприклад, при заданій ймовірності безвідмовної роботи за місяць ($t = 720$ год)

$$P = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n z_i\right); \quad 1 \leq n \leq M;$$

рівною 0,95 отримуємо, що при реалізації запропонованого методу достатньо перевірити 6 підсистем, а при перевірці за номерами необхідна перевірка 7 підсистем, тобто виграш складає 14%. Якщо задати напрацювання перевірених підсистем $T = 20000$ год, то використовуючи запропонований метод досить перевірити 5 підсистем, а за номерами 7. Виграш за рахунок скорочення числа перевіряємих підсистем складає 28%.

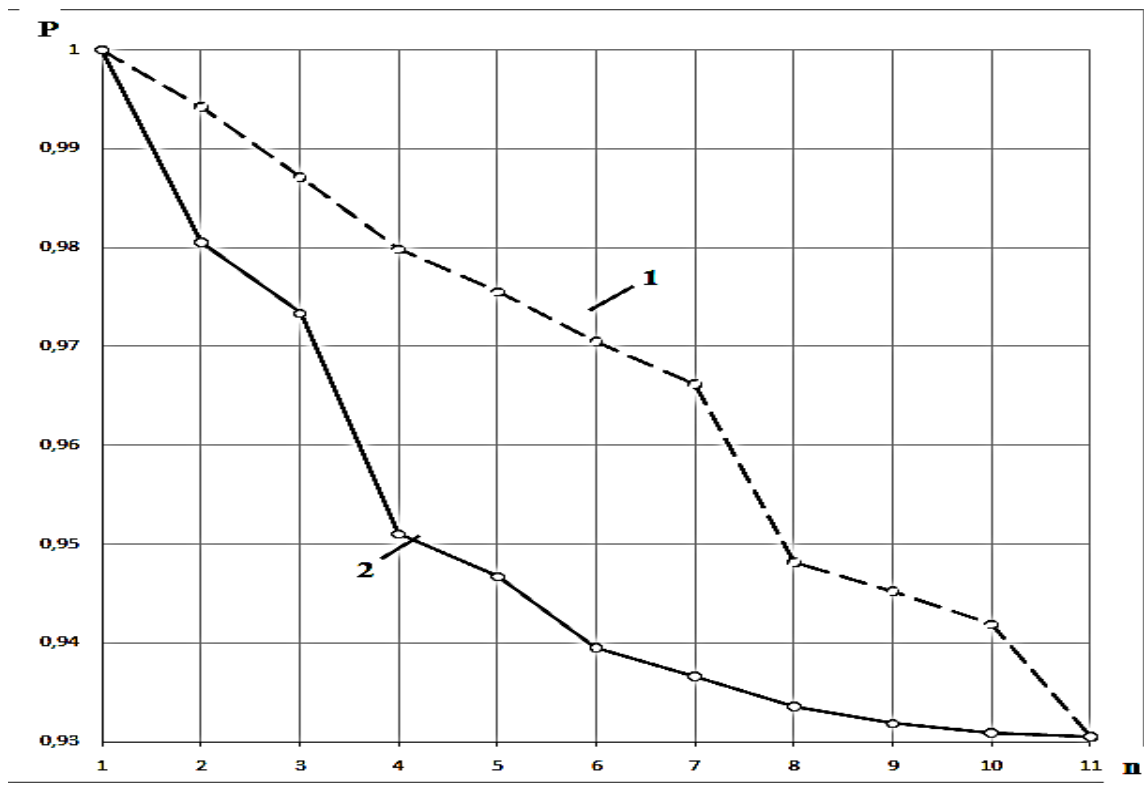


Рисунок 2.11 – Оцінка надійності числа підсистем, що перевіряються за місяць роботи

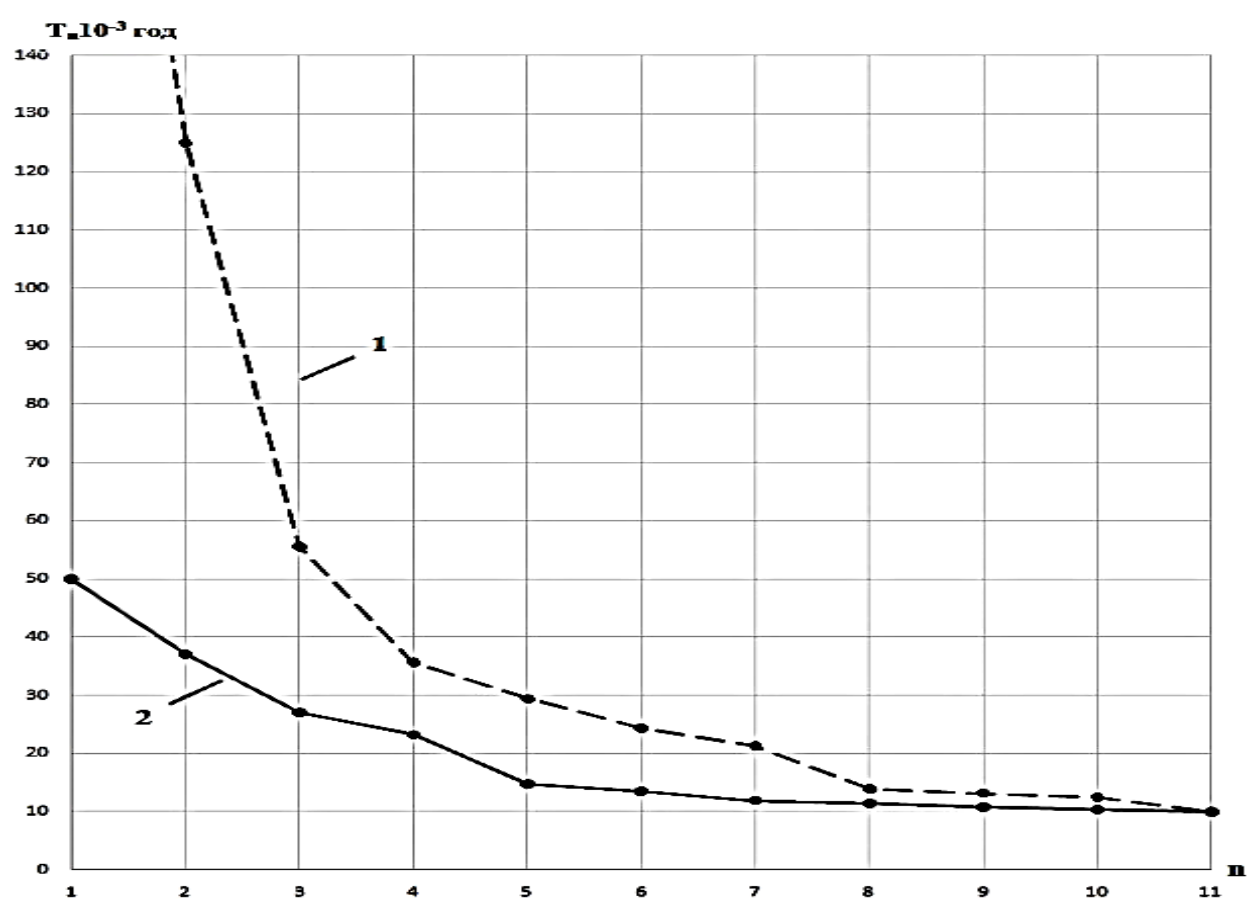


Рисунок 2.12 – Напрацювання на відмову за місяць роботи підсистем, що перевіряються

Запропонований метод вперше заснований на комплексному використанні надійнісних, часових і вартісних показників при оцінці ЙВП для перевірки за станом.

На відміну від відомих методів також враховується метрологічна надійність ЗВТ і результатів експертного опитування фахівців по визначенню вагомих коефіцієнтів складових комплексного показника при ранжуванні підсистем виробу, що перевіряється. Також відрізняється від відомих доступністю вихідних даних.

Реалізація методу формалізована у вигляді блок-схеми, яку можливо використовувати для розробки програмного забезпечення ЕОМ.

Приведений приклад практичного використання методу і показано, що ефект від його використання складає від 14% до 33% в залежності від показників, які оцінюються.

Подальші дослідження доцільно направити на розгляд можливості використання запропонованої ймовірності переважного вибору для розробки оптимальних алгоритмів діагностування РЕЗ із структурно зв'язаними підсистемами.

2.6. Метрологічне забезпечення технічного обслуговування за станом засобів спеціального зв'язку

Розглянуто особливості МЗ ТОС засобів зв'язку великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, перевірку працездатності яких, технічне обслуговування та відновлення працездатності можливо виконувати автономно. Пропонується для підвищення ефективності ТОС врахувати особливості МЗ, встановлювати раціональну послідовність виконання операцій, залежно від вимог обґрунтовано вибирати ЗВТ. Для цього використовують комплексний показник, що об'єднує окремі параметри перевірок та ЙВП. Це дозволяє за мінімальний час із заданою вірогідністю оцінити ТОС засобу зв'язку. Крім того можливо кількісно оцінити час виконання ТО з врахуванням метрологічної надійності та ймовірності правильної оцінки результату перевірки параметрів ЗВТ. Формалізовано порядок використання отриманих результатів і приведено приклад реалізації.

Керівні документи вимагають впровадження методу ЗСЗ, як найбільш економічного та який забезпечує необхідний рівень їх готовності до використання за призначенням. Але на даний час відсутні науково обґрунтовані методичні рекомендації щодо впровадження цього методу: не визначено мінімальну кількість параметрів, що перевіряються, послідовність виконання перевірок, не обґрунтовано вимоги до МЗ залежно від необхідного часу виконання робіт.

Сучасні та перспективні ЗСЗ належать до найбільш наукоємних і високотехнологічних видів промислової продукції, до яких висуваються

підвищені вимоги за якістю та ефективністю застосування. Ефективне функціонування сучасних ЗСЗ базується на основних видах забезпечення, до яких належить і МЗ. При цьому важливим є аналіз і оцінка правильності задавання вимог до МЗ зразків ЗСЗ при їх ТОС. Контроль результатів вимірювання параметрів та обґрунтований вибір потрібних ЗВТ впливають на ймовірність правильної оцінки реального ТС під час ТОС, що є основним завданням технічної діагностики. При відхиленні значень окремих параметрів від норми вирішується наступне завдання технічної діагностики – пошук та заміна несправного елементу ЗСЗ. При цьому для зменшення кількості вимірювань використовують УАД. Основний склад робіт, щодо обґрунтування вимог до МЗ, формується з вибору номенклатури ЗВТ.

Таким чином, зазначені обставини вимагають рішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в обґрунтуванні вимог до ЗВТ залежно від необхідного часу проведення ТОС ЗСЗ, які дозволяють після виконання мінімально необхідної кількості перевірок визначити реальний ТС об'єкту із заданою ймовірністю, що і є метою підрозділу.

З проведеного аналізу слідує, що в дійсний час найбільш доцільно використовувати ТОС ЗСЗ, при цьому необхідно комплексно врахувати показники надійності, часові та вартісні показники перевірки окремих підсистем, а також метрологічну надійність ЗВТ. Для цього потрібно запропонувати кількісний показник для оцінки ЙПВ параметрів з метою їх подальшого ранжування в порядку зменшення цього показника. Крім того, доцільно отримати і проаналізувати аналітичні залежності часу ТОС ЗСЗ від показників якості МЗ для алгоритмізації процесу обґрунтованого вибору ЗВТ, в чому і полягає мета підрозділу.

Аналіз публікацій щодо оцінки впливу МЗ на час виконання ТО об'єкту великої розмірності дозволяє кількісно оцінити значення комплексного коефіцієнту кожної перевірки, що враховує показники надійності та часові показники, як показано в попередньому підрозділі.

Особливість використання ЗВТ під час ТОС ЗСЗ обумовлена забезпеченням їх безвідмовності, переважно за прихованими метрологічними відмовами. Як показник метрологічної надійності ЗВТ використовують ймовірність $P_j(\tau)$ збереження значень метрологічних характеристик у заданих межах протягом міжперевірочного інтервалу τ .

Необхідні функціональні залежності щодо оцінки якості МЗ ТОС складних технічних об'єктів приведено в підрозділі 2.5.

Значення ймовірності помилки фахівця при оцінці значення параметру залежно від операції приведено в табл. 2.8.

Кількісна оцінка показників метрологічної надійності ЗВТ, які використовують під час ТОС радіостанцій, приведено в табл. 2.2, за умови, що $\tau = 8760$ год.

Узагальнені відомості про помилкове рішення оцінки результату виконання вимірювальних операцій

№	Вимірювальні операції	q
1	Сприйняття і оцінка показань одиночного стрілочного приладу: багатошкального	0,148...0,160
	простого	0,040...0,056
	з вертикальною лінійною шкалою	0,355
	з горизонтальною лінійною шкалою	0,275
	з круговою шкалою	0,109
	з напівкруглою шкалою	0,166
	з шкалою у вигляді вікна	0,005
2	Визначення значення “норма” по сектору на шкалі приладу	0,029
3	Пошук, сприйняття і оцінка стану індикаторів: від одного до семи	0,005
	від п’яти до п’ятнадцяти	0,010
4	Сприйняття і оцінка показань цифрового приладу з кількістю розрядів: від одного до трьох	0,0003
	від чотирьох до шести	0,0007
	від семи і більше	0,0015
5	Прийняття рішення при декількох логічних умовах: одне, два	0,005
	три, чотири	0,050
	п’ять і більше	0,100

Значення коефіцієнту u_i безрозмірне, дозволяє виявити найменш надійні підсистеми ЗСЗ, які потребують мінімального часу на перевірку та відновлення, але мають найбільший вплив на якість функціонування виробу в цілому. Воно змінюється в досить широких межах, тому для ранжування порядку перевірки параметрів ЗСЗ доцільно використовувати ЙПВ

$$U_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^M u_i}, \quad \sum_{i=1}^M U_i = 1.$$

Параметри ЗСЗ перевіряються в порядку зменшення значення U_i . При заданому значенні ймовірності визначення ТС ЗСЗ P_d параметри перевіряються згідно встановленого рангу до виконання умови

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i}{\sum_{i=1}^M u_i} \geq P_d, \quad n \leq n \leq M.$$

Відомо, що використання розглянутого підходу до ранжування параметрів ЗСЗ під час ТОС дозволяє до 10% скоротити кількість параметрів, які перевіряються, при заданому значенні P_d , або до 37% при заданому значенні напрацювання на відмову виробу після перевірки основних параметрів, які впливають на якість функціонування.

Розглянемо вплив МЗ на значення комплексного коефіцієнту u_i , де

$$C_i = \frac{S_i v_i}{\pi_i f_i}, \quad u_i = C_i \frac{P_i}{q_i}.$$

Відношення $P_i/q_i > 1$ тому, що $P_i \approx 1$, а $q_i \ll 1$, тобто якість МЗ головним чином впливає на значення u_i , яке лінійно змінюється залежно від цього відношення.

При $v_i = 0,025$; $S_i = 0,04$; $\pi_i = 0,054$; $f_i = 0,055$ отримуємо $C_i = 0,3367$. В такому разі на рис. 2.13 приведено залежність $u_i(P_i)$, а на рис. 2.14 залежність $u_i(q_i)$.

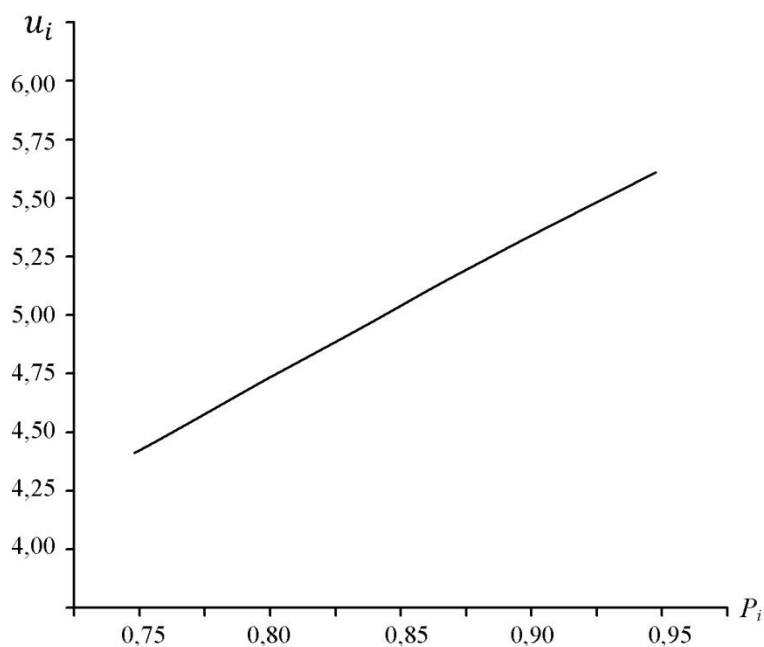


Рисунок 2.13 – Залежність $u_i(P_i)$ при $C_i = 0,3367$ і $q_i = 0,058$

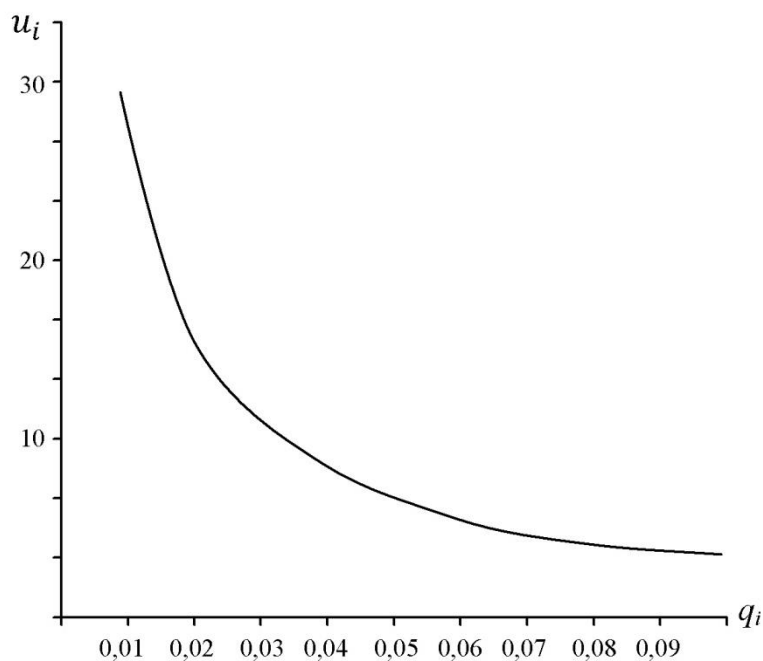


Рисунок 2.14 – Залежність $u_i(q_i)$ при $C_i = 0,3367$ і $P_i = 0,85$

Тобто при збільшенні P_i на 0,2 маємо зростання u_i в 1,27 рази. Відповідно при зменшенні q_i на 0,09 коефіцієнт u_i також зменшується в 10 разів. В цілому маємо прямо пропорційну залежність значення u_i від якості МЗ (рис. 2.15).

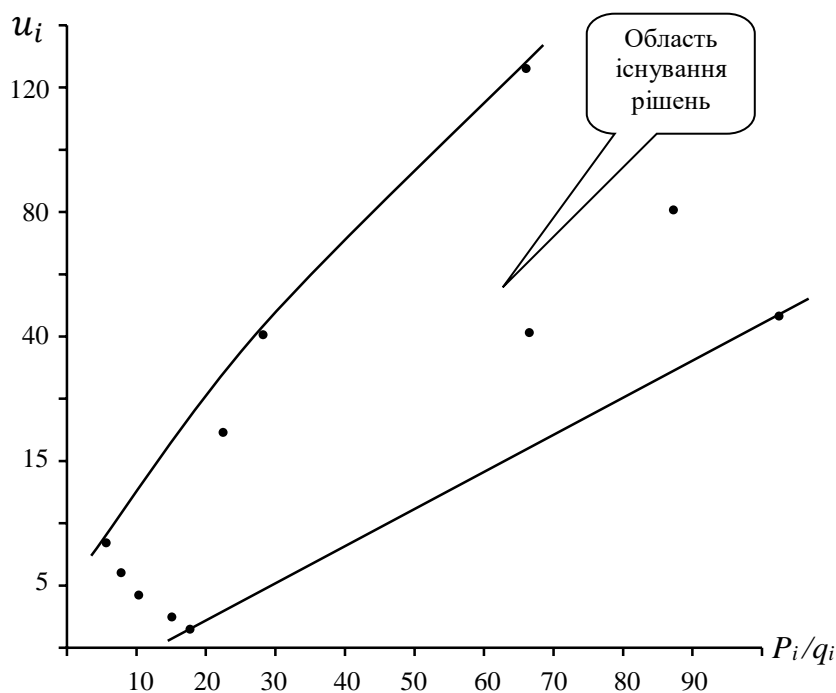


Рисунок 2.15 – Залежність $u_i(P_i/q_i)$

Використання запропонованого коефіцієнту u_i для розрахунку ЙПВ параметрів та їх ранжування дозволяє за рахунок перевірки в першу чергу найменш надійних сукупностей елементів n оцінити з необхідною точністю показники якості ТОС ЗСЗ:

ймовірність безвідмовної роботи перевіреної частини ЗСЗ за час $t = 720$ год (місяць роботи)

$$P_d \leq P(n) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n z_i\right), \quad 1 \leq n \leq M,$$

де P_d – допустиме значення $P(n)$;

напрацювання перевіреної частини ЗСЗ на відмову

$$T_d \leq T(n) = \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^{-1}, \quad 1 \leq n \leq M,$$

де T_d – допустиме значення $T(n)$.

Розглянемо вплив якості МЗ на відновлення ЗСЗ при невідповідності значення параметрів припустимим межах їх зміни.

Оскільки при ТОС використовується один комплект ЗВТ, як при перевірці параметрів, так і при пошуку елемента, який відмовив, то метрологічна надійність буде дорівнювати, як і раніше $P_i = P$.

При значеннях n перевірених параметрів в межах норми, загальний час ТОС складе

$$T_{\text{ТОС}} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{(1-q)^i}, \quad 1 \leq n \leq M,$$

де $q = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - q_j)$ – ймовірність помилкової оцінки результату перевірки параметру при використанні N ЗВТ (q_j – ймовірність помилкової оцінки результату перевірки виробом j);

$(1 - q)^n$ – ймовірність правильної оцінки ТС об'єкту.

При виявленні $0 < m \leq n$ параметрів, які не відповідають нормі, виконується пошук дефектів в підмножинах елементів, які їх формують, по УАД з повторною перевіркою параметру після усунення несправності (рис. 2.16)

$$T_{\text{ТОС}}(n, m) = \frac{1}{P} \left[\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{(1-q)^i} + T \left(\frac{\sum_{i=0}^m t_i z_i}{(1-q)^m} + \sum_{i=0}^m \frac{(K_i t + t_{yi}) z_i}{(1-q)^{K_i}} \right) \right],$$

де $K_i = \log_2 L_i$ – кількість перевірок, коли параметр i не відповідає нормі;

t – середній час виконання перевірки;

t_{yi} – середній час усунення несправностей;

$z_i T$ – ймовірність відмови об'єкту через параметр i .

Максимальне значення ТОС при $m = n$ дорівнює

$$\max T_{\text{ТОС}} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i (1 + T z_i)}{(1-q)^i} + T \frac{(K_i t + t_{yi}) z_i}{(1-q)^{K_i}} \right].$$

Отримані результати дозволяють формалізувати порядок вибору ЗВТ для ТОС ЗСЗ у вигляді алгоритму (рис. 2.17).

Наприклад, при $0,85 \leq P_i \leq 0,99$ отримуємо $P_i = P = 0,91$. Використання цифрового ЗВТ під час ТОС (табл. 2.6) забезпечує ймовірність правильної оцінки результату перевірки $1 - q_i = 0,9993$, тобто $q_i = q = 0,0007$. За вихідними даними якщо всі параметри ЗСЗ в нормі отримуємо $T_{\text{ТОС}} = 202$ хв, що на 9% більше без врахування ймовірності помилки виконавця: при $q = 0$ $T_{\text{ТОС}} = 185$ хв.

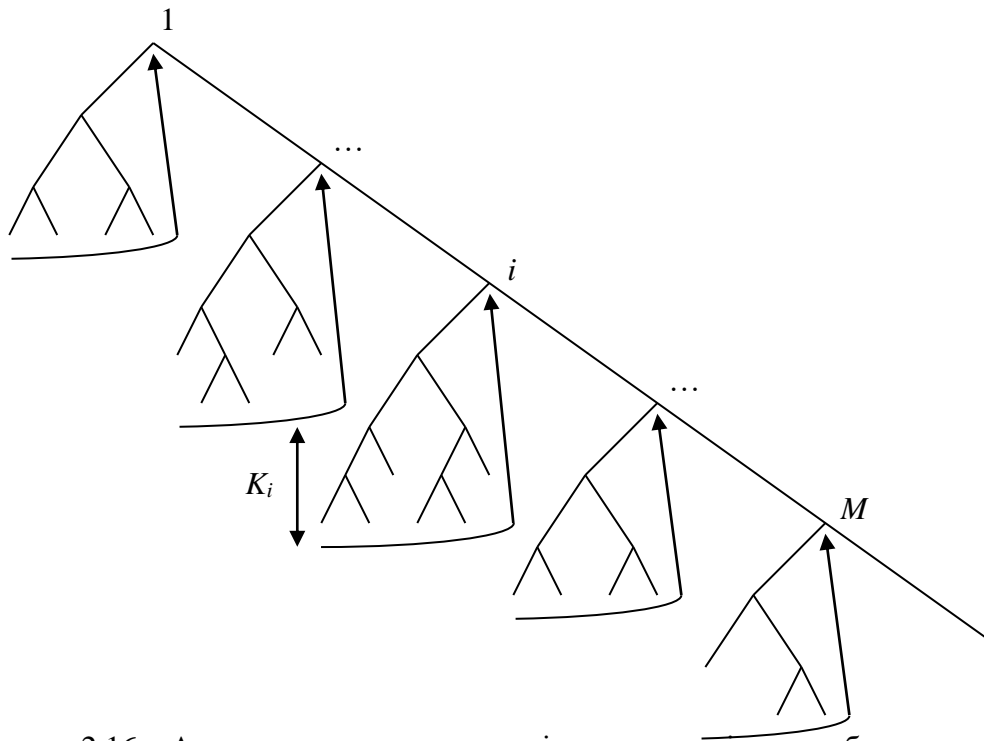


Рисунок 2.16 – Алгоритм виконання перевірок при технічному обслуговуванні об'єкту за станом з усуненням несправностей

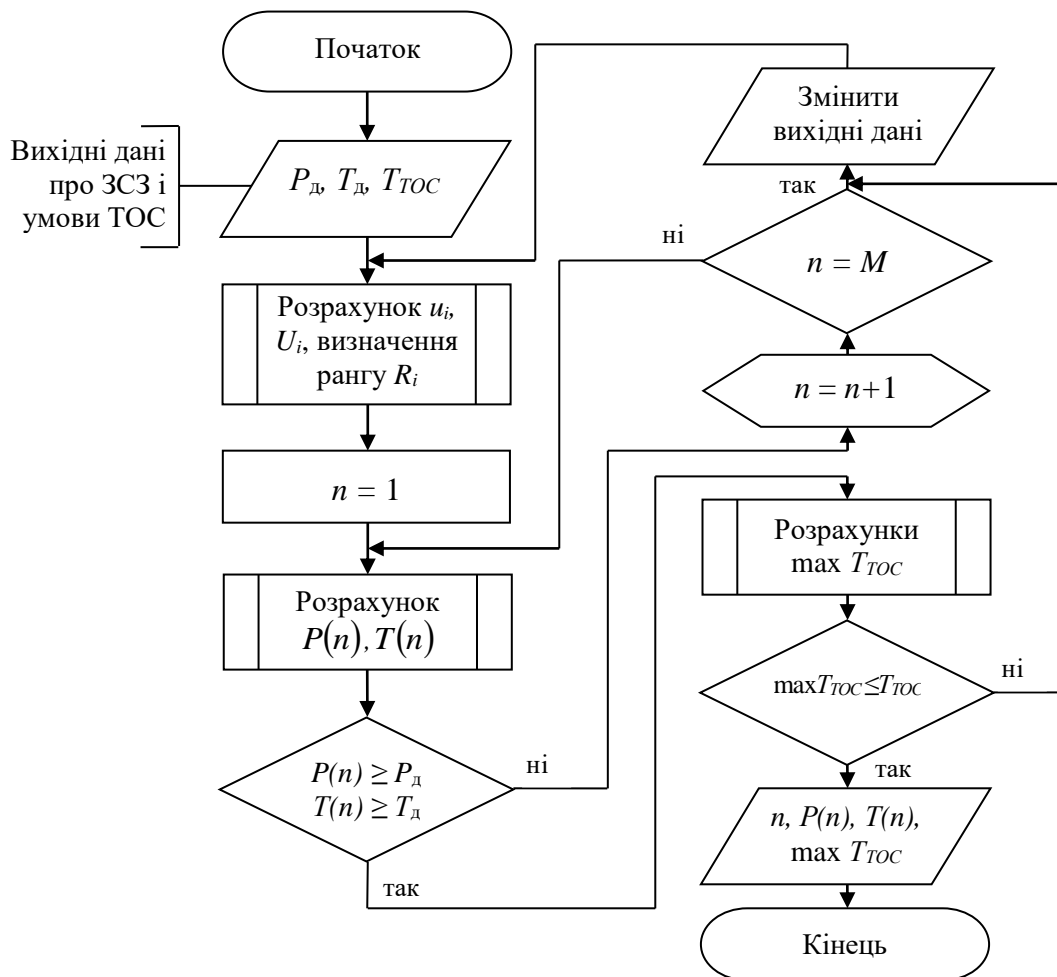


Рисунок 2.17 – Блок-схема алгоритму вибору ЗВТ для ТОС ЗСЗ

В найгіршому випадку, коли $m = n = M$ при $t = 3$ хв отримаємо $\max T_{\text{ТОС}} = 247$ хв з врахуванням ймовірності відмови підмножин елементів, тобто на 22,3% більше ніж при $m = 0$. При цьому при $n = 9$ отримуємо $P(n) = 0,85 = P_d$, $T(n) = 11300$ год $> T = 10000$ год, а також $\max T_{\text{ТОС}} = 247$ хв $< T_{\text{ТОС}} = 250$ хв. Тобто ЗВТ вибрано правильно та МЗ відповідає вимогам.

В підрозділі вперше проаналізовано вплив МЗ на якість ТОС засобів зв'язку.

Отримано і досліджено функціональні залежності показників якості ТОС засобів зв'язку від метрологічної надійності ЗВТ та ймовірності правильної оцінки результату перевірки значення параметру ЗСЗ виконавцем.

Результати досліджень доведено до практично реалізуємих рекомендацій щодо вибору ЗВТ залежно від вимог до показників якості ТОС засобів зв'язку у вигляді формалізованого алгоритму з прикладом його використання, які відрізняються від відомих.

Подальші дослідження доцільно направити на автоматизацію процесу вибору ЗВТ за допомогою ЕОМ, що дозволить скоротити час розробки технологічної документації ТОС перспективних ЗСЗ та обґрунтовано обирати для цього ЗВТ мінімальної вартості.

2.7. Дослідження умовних алгоритмів діагностування багатовихідних об'єктів

Незважаючи на стрімке зростання надійності елементної бази сучасних ЗСЗ актуальним є питання забезпечення їх ремонтпридатності, значення показників якої регламентується керівними документами. Значний час ПРЗСЗ займає пошук несправних елементів, тому досить важливе удосконалення ДЗ. Це досягається використанням ефективних УАД пошукової діяльності майстрів, які скорочують необхідну кількість перевірок пошкодженої апаратури. Встановлено, що до 30 відсотків відмов ЗСЗ обумовлено несправностями їх джерела вторинного електроживлення, які відносяться до класу багатовихідних об'єктів. В підрозділі із використанням сучасних досягнень технічної діагностики і метрології, які не враховувались раніше, дослідженні можливі варіанти побудови УАД. Також дослідженні їх показники якості залежно від конструктивних особливостей об'єкта діагностування і приведені результати порівняння. Встановлено умови переважного вибору алгоритмів пошуку дефектів за критерієм мінімуму середнього часу відновлення, формалізовано порядок рішення цього завдання. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки ДЗ перспективних ЗСЗ, а також і при удосконаленні існуючих. При цьому знята частина обмежень, які використовуються у відомих методиках, що дозволяє підвищити ефективність

науково обґрунтованих практично реалізуємих рекомендацій щодо часу відновлення ЗСЗ при відмові їх джерел вторинного електроживлення.

Сучасні програмно-керовані ЗСЗ безперервно ускладнюються в напрямку автоматизації технологічних операцій, забезпечення якості та безперервності зв'язку, що веде до збільшення кількості елементів, а це в свою чергу не сприяє забезпеченню необхідних значень показників надійності. Тому проблема ефективності процесу діагностування під час ПР ЗСЗ досить актуальна і потребує безперервного рішення і удосконалення по мірі розвитку техніки. Тобто маємо протиріччя між удосконаленням ЗСЗ, збільшення кількості елементів і необхідністю забезпечення директивно встановлених значень показників надійності. Його зняття в сучасних умовах можливо удосконаленням ДЗ, а саме впровадження ефективних УАД під час ПР ЗСЗ.

Аналіз відмов ЗСЗ показує, що до 30% перепадає на порушення працездатності вторинних джерел електроживлення. Встановлено, що підсистема електроживлення ЗСЗ відноситься до класу багатовихідних об'єктів (БВО), які відрізняються особливостями процесу відновлення працездатності. Тому виникає необхідність дослідження найбільш ефективних алгоритмів діагностування БВО, які мінімізують середній час їх відновлення.

Відомі методики розробки ДЗ БВО не враховують результатів останніх досліджень в галузі технічної діагностики і метрології. Для підвищення точності оцінки значення середнього часу відновлення пропонується враховувати ймовірність правильної постановки діагнозу і метрологічну надійність ЗВТ. Значення цих показників в відомих методиках винесене в обмеження: тобто ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування дорівнює одиниці, а ЗВТ заздалегідь справні. Ці положення не відповідають реальним умовам відновлення працездатності ЗСЗ в польових умовах. Вказані недоліки усунені в цій статті, мета якої – дослідження УАД БВО з врахування імовірних показників процесу пошуку дефектів ймовірності правильної постановки діагнозу і метрологічної надійності ЗВТ на відміну від відомих досліджень і публікацій.

В загальному випадку БВО (підсистема електроживлення, генераторне обладнання або виділення каналів зв'язку в радіорелейних станціях, станціях тропосферного зв'язку або багатоканальних апаратних польового зв'язку) можливо представити у вигляді рис. 2.18 (для підсистем електроживлення, це трансформатор зі вторинними обмотками, випрямлячами, фільтрами, стабілізаторами напруги), де M кількість виходів (в загальному випадку – блоків БВО), n – кількість ТЕЗ, що входять до складу ЗП з глибиною до яких необхідно визначити дефект.

Згідно рекомендацій загальний УАД БВО приймає вигляд рис. 2.19.

Загальна кількість перевірок для цього УАД дорівнює

$$K_{\Sigma} = (n + 1)(1 + \log_2(n + 1)) + n \left((M - 1) + \sum_L^{M-1} i + (M - 1) \log_2 n \right) =$$

$$= (n + 1)(1 + \log_2(n + 1)) + n((M - 1)(1 + \log_2 n) + 0,5(M - 1)M - 1),$$

а середня кількість перевірок при пошуку дефекту складає

$$K = \frac{K_{\Sigma}}{1 + nM} = \frac{K_{\Sigma}}{L},$$

де L – загальна кількість елементів БВО.

В тому разі середній час відновлення БВО

$$T_1 = \frac{K t_b}{p^k P},$$

де t_b – середній час вимірювання при виконання перевірки;

p – ймовірність правильної оцінки результату вимірювання;

P – метрологічна надійність ЗВТ.

На рис. 2.20 приведено залежності середнього часу відновлення БВО від кількості блоків (M) і часу виконання вимірювання t_b за умови, що $p = 0,9997$ і $P = 0,98$, а $L = 256$.

Розглянемо другий варіант діагностування: вимірювання вихідних сигналів при пошуку несправного блоку і його діагностуванні за УАД мінімальної форми:

$$K_6 = \frac{(M - 1)(M + 2)}{2M}, \quad K_e = \log_2 \frac{L}{M},$$

$$T_2 = \left(\frac{K_6}{p^{K_6}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right) \frac{t_b}{P},$$

де K_6 – середня кількість перевірок при пошуку несправного блоку;

K_e – середня кількість перевірок при пошуку несправного ТЕЗ.

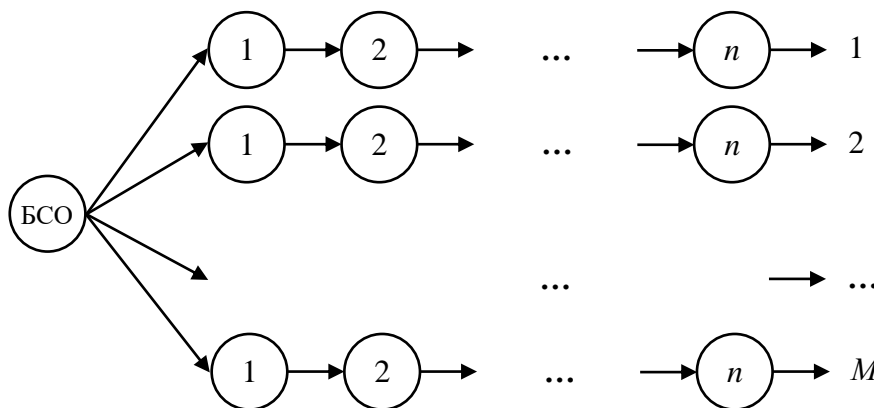


Рисунок 2.18 – Структурна схема багатовихідного об'єкту

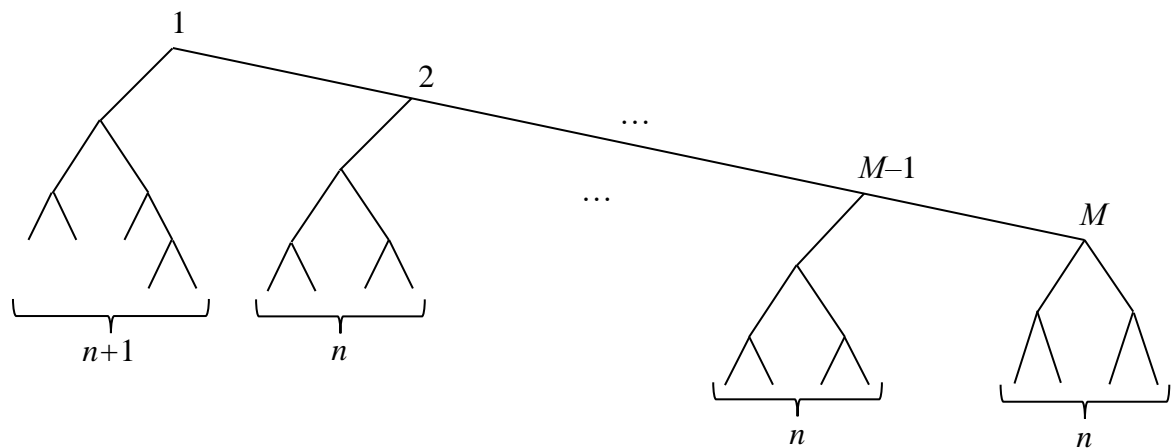


Рисунок 2.19 – Загальний умовний алгоритм діагностування багатовихідного об'єкту

Вважаємо, що в обох випадках використовують один ЗВТ. На відміну від першого варіанту це двоетапний процес діагностування. На рис. 2.21 приведено залежності $T_2(M, t_B)$, за тих же умов, що і T_1 .

Порівняння рис. 2.20 та рис. 2.21, показує, що цей варіант не є кращим попереднього, але зі збільшенням значення M маємо повільніше зростання часу відновлення.

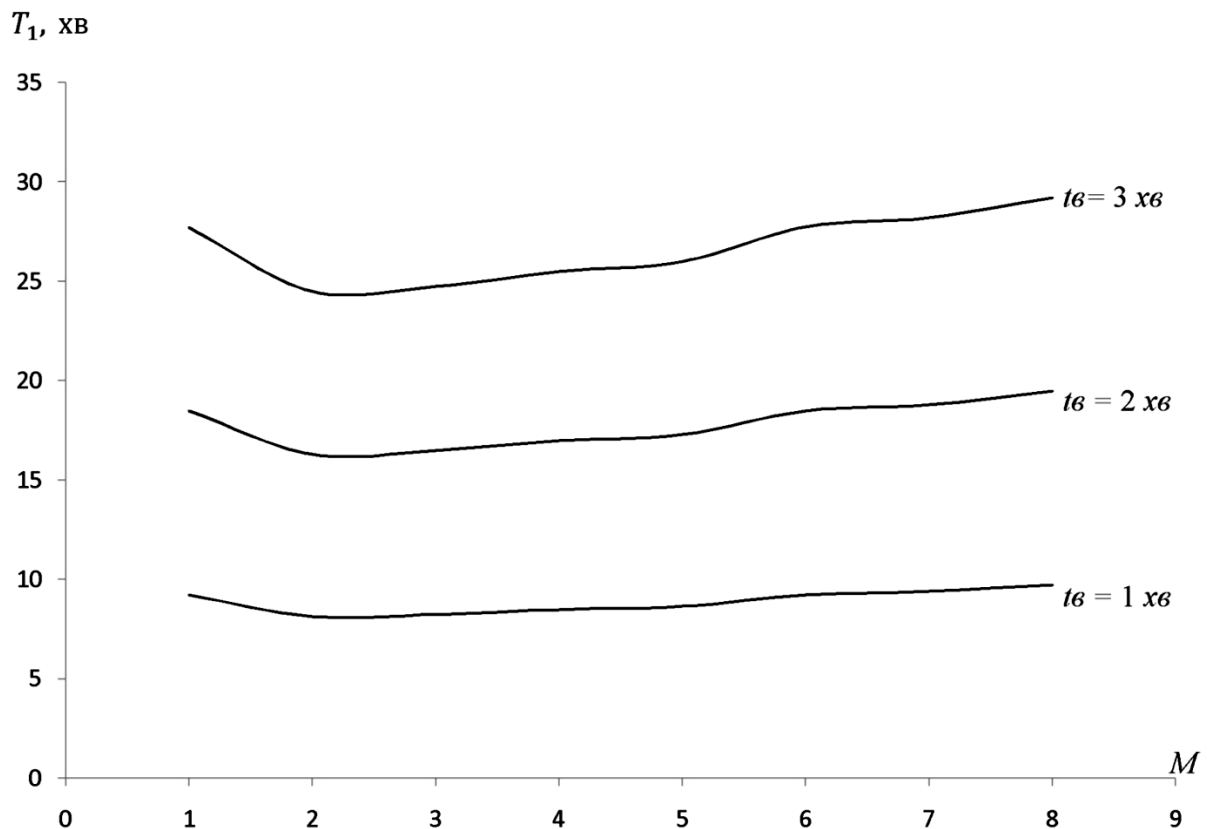


Рисунок 2.20 – Залежності середнього часу відновлення багатовихідного об'єкту від кількості блоків і часу виконання перевірки

Розглядаємо далі двоетапний процес діагностування: пошук несправного блоку процедурою пробних заміщень, а ТЕЗ як і раніше. Процедура пробних заміщень дуже проста і не потребує ЗВТ, а тільки справний комплект ТЕЗ в складі ЗП, або наявність справного комплекту ЗСЗ. При цьому середній час відновлення

$$T_3 = K_6 t_3 + \frac{K_e t_B}{p^{K_6 P}},$$

де t_3 – середній час виконання пробного заміщення блока.

Залежності $T_3(M, t_B)$, при $t_3 = 1$ хв приведено на рис. 2.22.

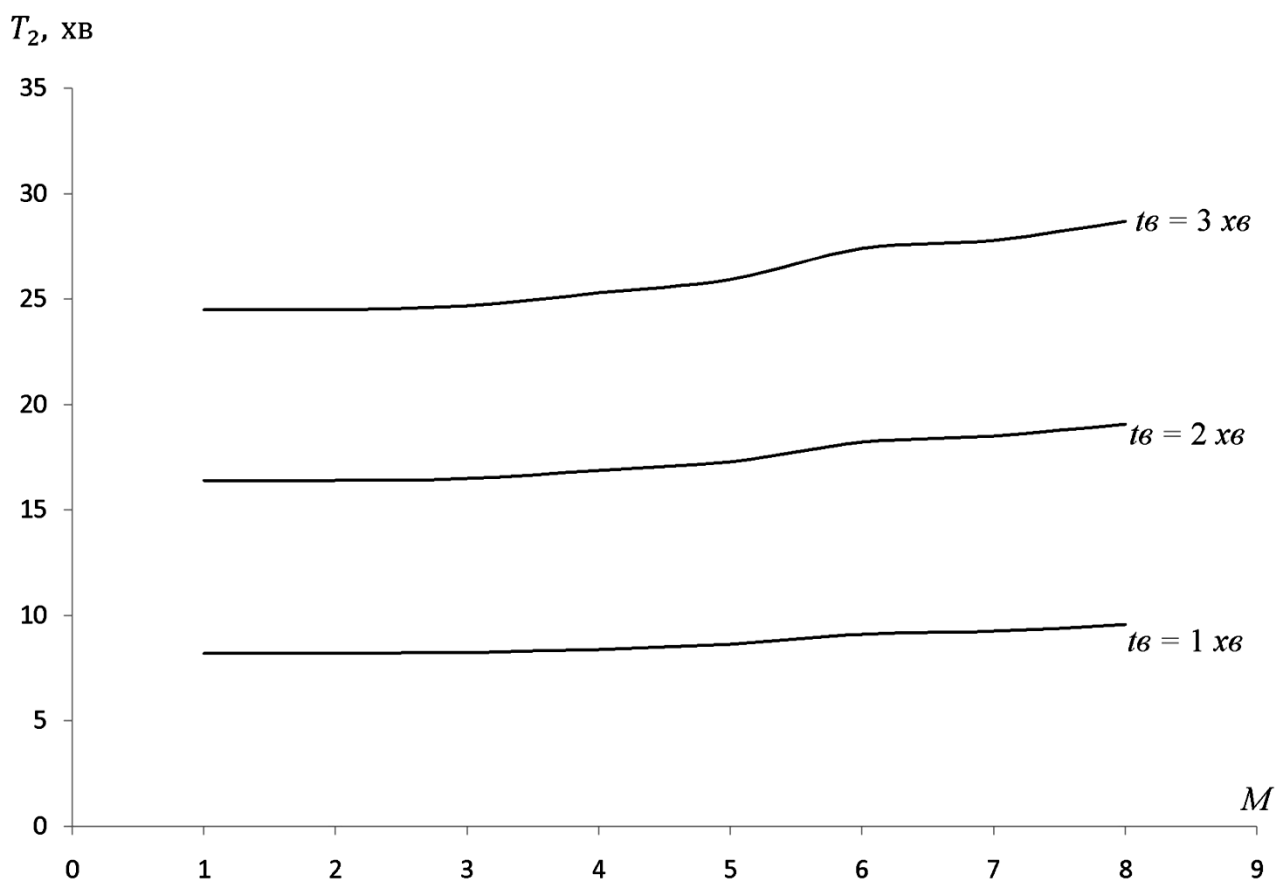


Рисунок 2.21 – Залежності середнього часу відновлення при двоетапному процесі діагностування багатовихідного об'єкту

Перевага цієї процедури виконується, якщо

$$T_2 - T_3 = K_6 \left(\frac{t_B}{p^{K_6 P}} - t_3 \right) > 0,$$

тобто

$$\frac{t_B}{t_3} > p^{K_6 P}.$$

Ця нерівність виконується завжди, так як $t_B > t_3$, а $p^{K_6 P} < 1$.

При відновленні ЗСЗ в польових умовах в апаратних технічного забезпечення (АТЗ) на першому етапі діагностування доцільно використовувати груповий пошук дефектів, коли μ фахівців одночасно виконують вимірювання значень параметрів. В такому разі максимальна кількість перевірок блоків дорівнює

$$K_m = \left[\frac{M-1}{\mu} \right],$$

де $[A]$ означає округлення числа A до цілого значення (наприклад $[2,1] = 3$). А середнє значення кількості перевірок при груповому пошуку дефектів

$$K_r = \frac{\mu K_m (K_m + 1)}{2M},$$

тоді загальний час відновлення ЗСЗ дорівнює

$$T_4 = \frac{t_B}{P} \left(\frac{K_r}{p^{K_r}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right).$$

Залежності $T_4(M, t_B)$ при $\mu = 2$ приведено на рис. 2.23.

Порівняння двох останніх варіантів діагностування показує, що

$$T_3 - T_4 = K_6 t_3 - \frac{K_r t_B}{p^{K_r} P} > 0,$$

за умови

$$\frac{K_6}{K_r} p^{K_r} P > \frac{t_B}{t_3}.$$

Так як $p^{K_r} P < 1$, кількість фахівців $\mu > 1$ і $K_r < K_6$ за умови

$$\frac{M-1}{M+1} < \mu,$$

яка виконується завжди, то $T_3 > T_4$.

Якщо відсутні запобіжники, то для пошуку блока з коротким замиканням в ланцюгах електроживлення можливо використовувати процедуру відключення роз'ємів або вилучення блоків. Тоді з початку доцільно відключати $0,5M$ і перевірити електроживлення, потім $0,25M$ і так до тих пір, доки не буде встановлено блок з перевантаженням. Кількість одночасно

вимикаємих блоків на кожному кроці перевірки зменшується вдвічі, тобто загальна кількість відключень дорівнює

$$N = \frac{M}{2} + \frac{M}{4} + \frac{M}{8} + \dots + \frac{M}{M} = M \sum_{i=1}^M 2^{-i} = M(1 - 2^{-M}).$$

В такому разі загальний час діагностування складає

$$T_5 = M(1 - 2^{-M})t_p \log_2 M + t_B K_e / p^{K_e P},$$

де t_p – час відключення роз'ємів ($t_p < t_B$).

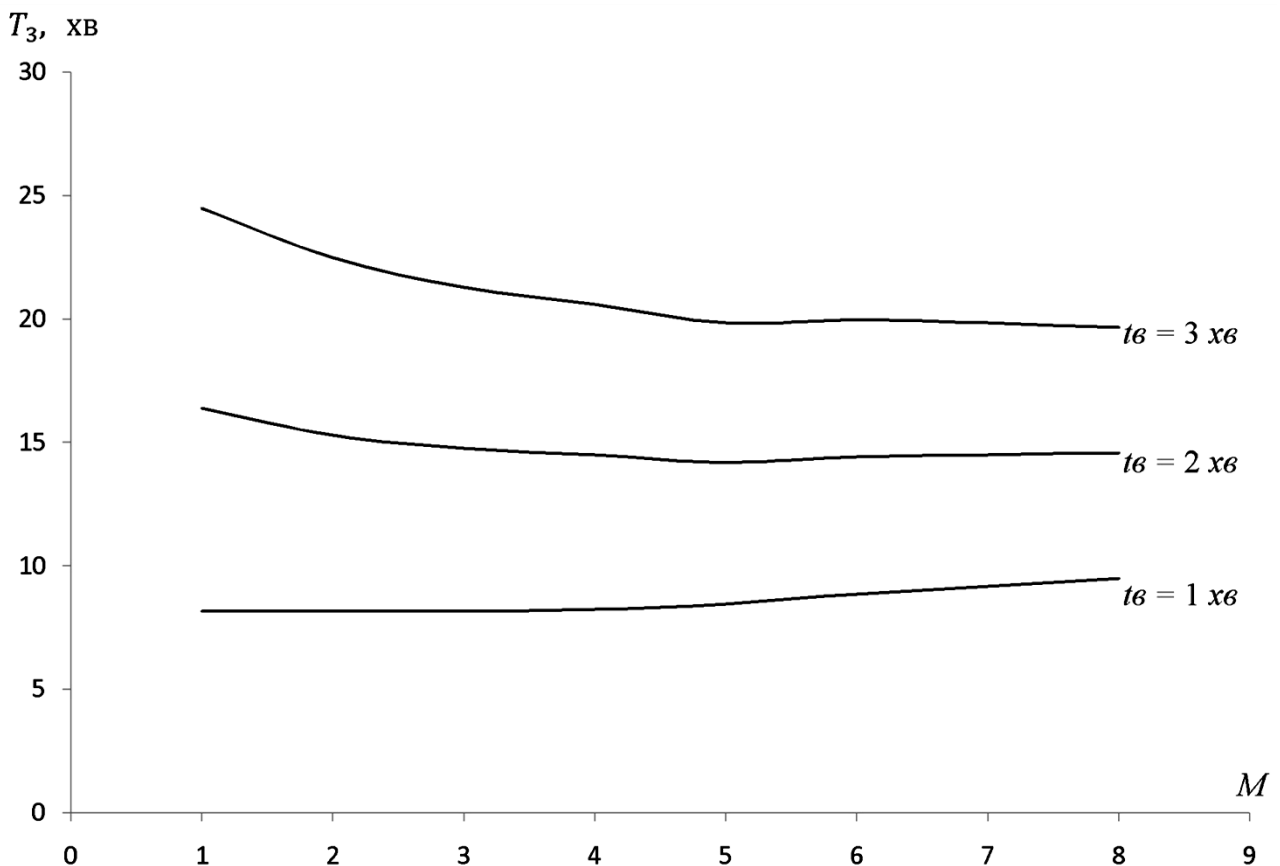


Рисунок 2.22 – Залежності середнього часу відновлення при використанні процедур пробних заміщень на першому етапі діагностування

Залежності $T_5(M, t_B)$, при $t_p = 1$ хв приведено на рис. 2.24. Оскільки при двоступеневому пошуку дефектів (спершу блок, а потім ТЕЗ) завжди при збільшенні значення M_B виробі час пошуку блока зростає, а час пошуку ТЕЗ зменшується, то функція $T_i(M)$ має мінімальне значення, яке доцільно враховувати під час проектування ЗСЗ. Це значення можливо знаходити алгоритмічним збільшенням значення M від одиниці i до L .

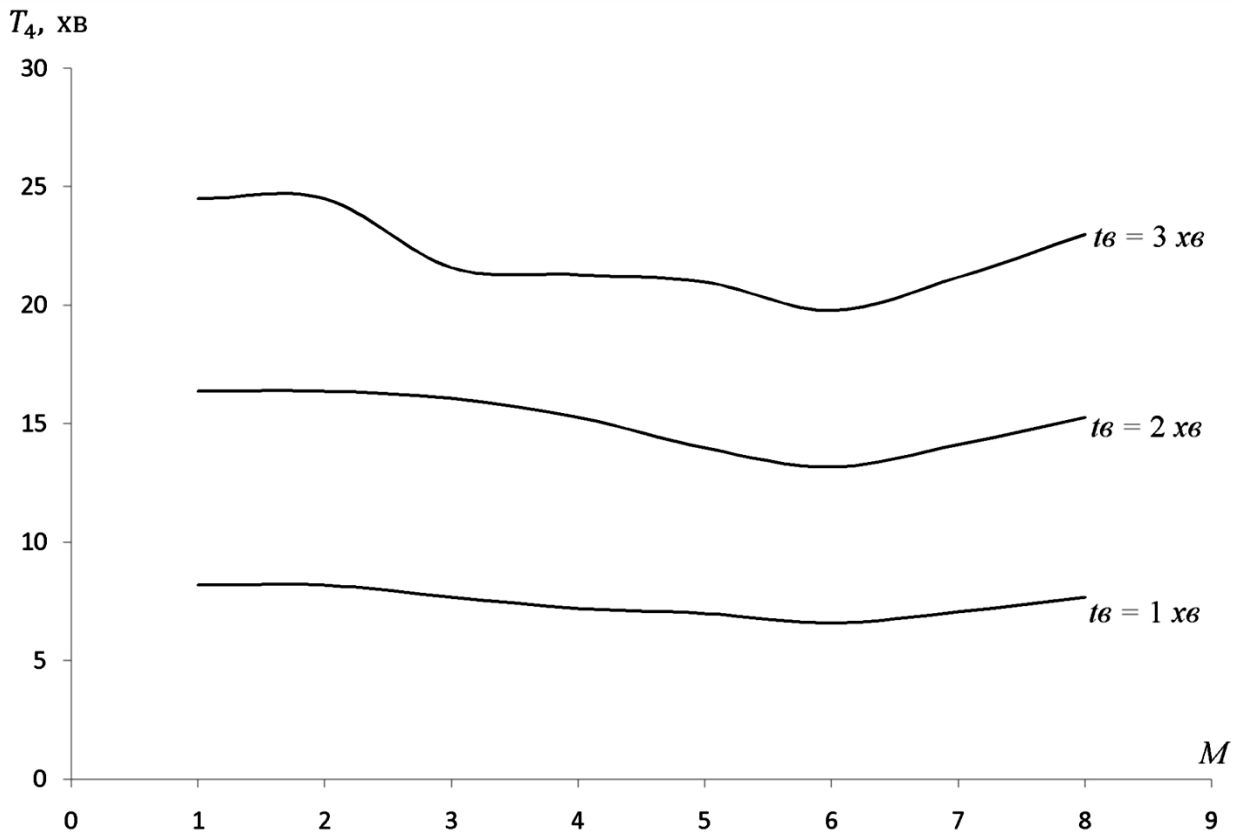


Рисунок 2.23 – Залежності середнього часу відновлення виробу при реалізації на першому етапі групового пошуку несправного блока

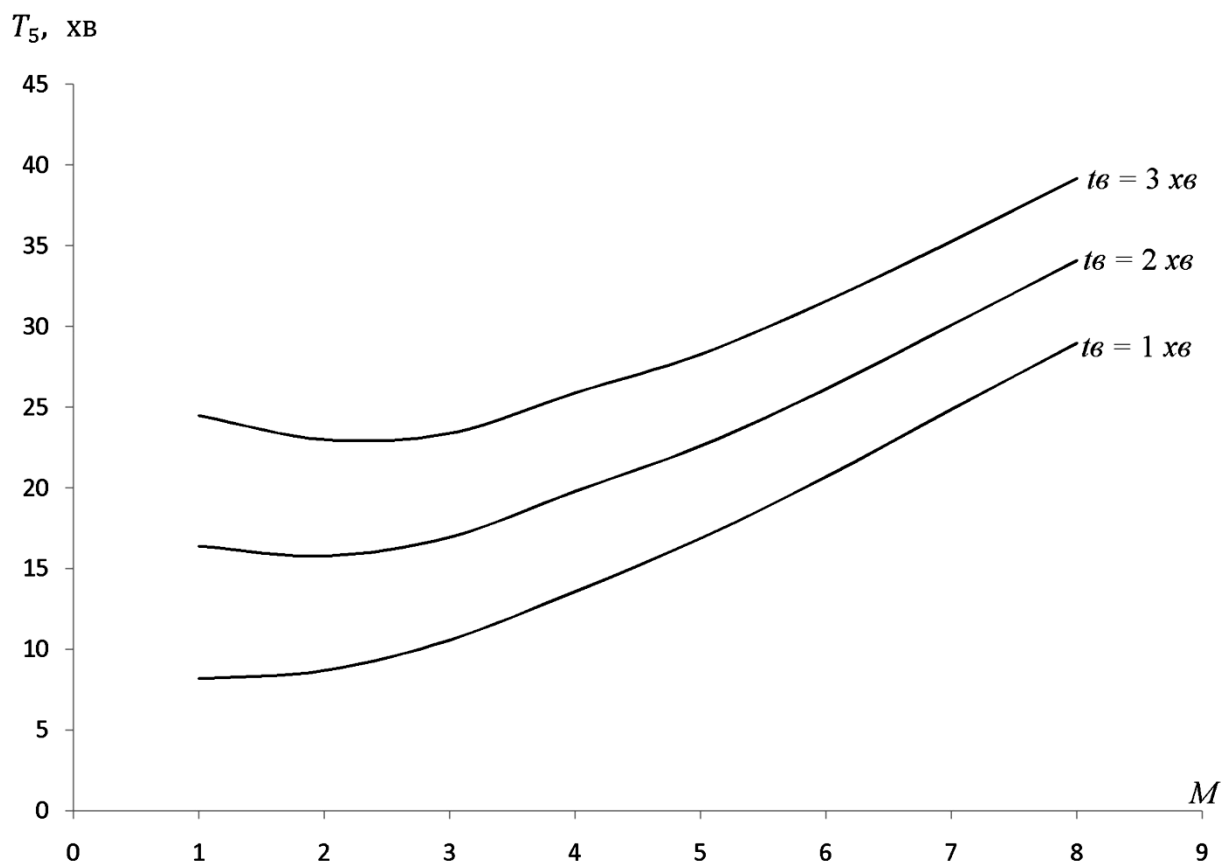


Рисунок 2.24 – Залежності середнього часу діагностування виробу з відключенням блоків від електроживлення

Порівняння варіантів показує, що завжди $T_5 < T_3$, оскільки

$$\frac{2M \log_2 M}{(M-1)(M+2)} < \frac{t_3}{t_p} < 1.$$

В найкращому випадку при наявності в об'єкті на всіх виходах блока електроживлення індикаторів або можливості перевірки напруги вбудованими ЗВТ, їх показання перевіряють з врахуванням ЙПВ, тобто починаючи з найменш надійних. В такому разі загальний час діагностування складає

$$T_6 = \frac{M(t_n + t_i)}{p_1^M P_1} + \frac{t_b K_e}{p_2^{K_e} P_2},$$

якщо використовують вбудовані і зовнішні ЗВТ з різними значеннями p і P , де t_n – час переключення вбудованого приладу, t_i – час оцінки його показників.

Залежності $T_6(M, t_b)$, при $t_n + t_i = 1$ хв приведено на рис. 2.25 і також мають мінімальне значення при деякій кількості блоків.

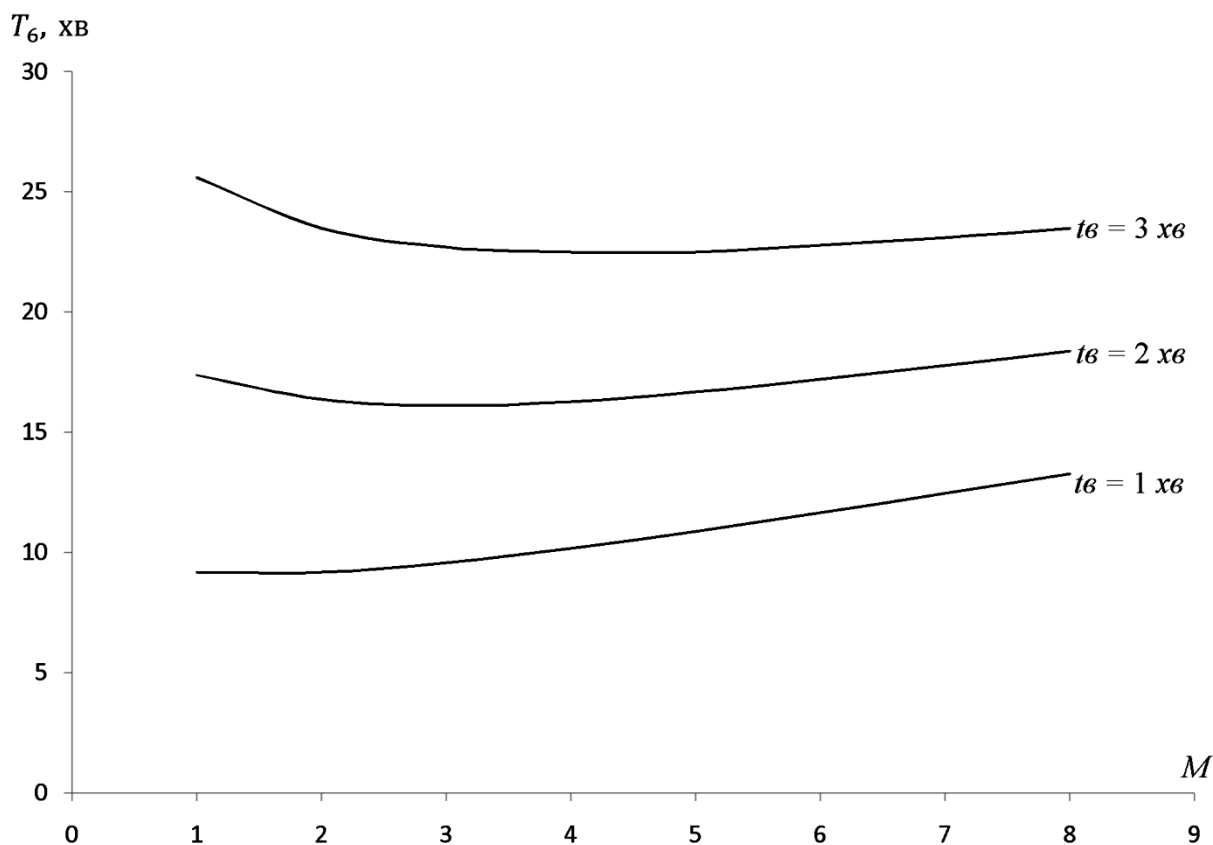


Рисунок 2.25 – Залежності середнього часу діагностування виробу від кількості блоків при використанні вбудованих і зовнішніх засобів вимірювань

Порівняння з попередньою процедурою діагностування показує, що $T_6 < T_5$ при виконанні умови:

$$\frac{1}{p_1^M P_1 (1 - 2^{-M}) \log_2 M} < \frac{t_p}{t_n + t_i}.$$

Таким чином, в підрозділі розглянуто практично реалізуемі варіанти діагностування БВО і отримано кількісну оцінку середнього часу діагностування. При цьому середній час відновлення в усіх випадках дорівнює

$$T_{vi} = T_i + t_y \leq T_{в доп},$$

де $i = \overline{1, 6}$ – варіант діагностування,

t_y – середній час усунення несправності,

$T_{в доп}$ – припустимий час відновлення згідно керівних документів.

Аналіз отриманих результатів показує, що відсутня універсальна процедура діагностування, яка є кращою у всіх випадках.

Отримано функціональні залежності середнього часу діагностування від конструкції виробу і часових показників виконання операцій, які відрізняються від відомих врахуванням якості метрологічного забезпечення ПР ЗСЗ.

В подальшому доцільно використовувати отримані результати в методиці вибору алгоритму діагностування БВО залежно від їх конструкції і умов відновлення.

2.8. Оцінювання впливу конструкції на надійність радіоелектронних засобів

В підрозділі розглядаються підходи до забезпечення необхідного рівня надійності ЗСЗ під час проектування конструкції виробів з врахуванням МЗ і ДЗ під час їх експлуатації. Відомо, що до 80% часу ПР займає пошук дефектів, тому особлива увага приділяється впливу конструкції виробу на мінімізацію середнього часу діагностування. Розглянуто можливі варіанти відновлення працездатності БВО до яких відносяться підсистеми електроживлення. Показано, що обґрунтований вибір конструкції, МЗ і ДЗ знижує до 30% час ПР.

Використання отриманих результатів при проектуванні перспективних та існуючих радіоелектронних засобів різноманітного призначення дозволяє підвищити ефективність ПР в реальних умовах.

Кількість елементів сучасних ЗСЗ безперервно збільшується внаслідок розширення їх функцій і автоматизації технологічних операцій, але вимоги до їх надійності залишаються постійними. Це протиріччя можливо вирішити збільшенням надійності елементної бази, яке веде до зростання вартості виробу, що не завжди прийнятно. Тому виникає проблема забезпечення необхідних значень показників надійності іншими способами, серед яких врахування вимог ремонтпридатності виробів при проектуванні конструкції, а

також удосконалення МЗ і ДЗПР під час експлуатації в реальних умовах з використанням сучасних досягнень в галузі метрології і технічної діагностики.

Таким чином, постає задача кількісної оцінки впливу конструкції РЕЗ на їх надійність, а також обґрунтованого вибору варіанту відновлення працездатності при ПР за мінімальний час. Це дозволить забезпечити необхідні значення показників надійності без додаткових витрат під час експлуатації РЕЗ.

Фундаментальні теоретичні дослідження складних технічних систем показують, що підвищити надійність техніки в процесі експлуатації не можливо, її можливо тільки забезпечити та підтримувати на необхідному рівні за рахунок МЗ і ДЗ, ТО та ПР. Приведені рекомендації щодо забезпечення надійності складних технічних систем направлені на резервування найменш надійних конструктивних одиниць виробу, при цьому особливості експлуатації, а саме вплив МЗ і ДЗ на показники ремонтпридатності не розглядаються.

В сучасних роботах по МЗ і ДЗ експлуатації РЕЗ показано їх вплив на показники експлуатаційної надійності. Приведена кількісна оцінка якості МЗ на ТО та ПР РЕЗ, яка полягає в уточненні до 10% часу виконання робіт.

При створенні ДЗ РЕЗ запропоновано використовувати ЙПВ для упорядкування послідовності перевірок при пошуку дефектів під час ПР з метою підвищення його ефективності. Комплексна оцінка необхідності виконання перевірок отримала подальший розвиток з врахуванням особливості МЗ ремонту.

Найбільш загальною частиною будь-яких РЕЗ є підсистема електроживлення. Аналіз статистичних даних показує, що на цю підсистему припадає до 30% всіх відмов виробу, тому забезпечення надійності блоків електроживлення РЕЗ дуже важливе. Встановлено, що ці об'єкти відносяться до класу БВО, діагностування яких потребує використання спеціальних процедур.

В розділі розглядаються дослідження кількісної оцінки впливу конструкції на надійність РЕЗ, як під час проектування, так і в процесі експлуатації для забезпечення необхідних значень середнього часу відновлення і коефіцієнту готовності.

Надійність РЕЗ кількісно оцінюється комплексним показником коефіцієнтом готовності, тобто ймовірністю того, що об'єкт виявиться працездатним в довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкту за призначенням не передбачено (ДСТУ 2860-94). Він дорівнює

$$K_T = T / (T + T_B),$$

де T – середній наробіток на відмову;

T_B – середня тривалість відновлення.

Під час проектування РЕЗ значення T визначають надійністю радіоелектронних елементів виробу через параметр потоку відмов

$$T = \frac{1}{z}, \quad z = \sum_{i=1}^N \lambda_i,$$

де λ_i – інтенсивність відмов елементів групи i ;

N – кількість груп елементів виробу.

Значення показників надійності T і T_B задаються керівними технічними матеріалами з надійності і ремонтпридатності РЕЗ різноманітного призначення.

Значення T забезпечується під час проєктування РЕЗ вибором елементів, при виробництві підтриманням технології і при експлуатації якісним ТО та ПР. Тобто, під час експлуатації збільшити розрахункове значення T не можливе.

На значення T_B суттєво впливає якість МЗ і ДЗ, що використовують в процесі ТО і ПР РЕЗ, а також кваліфікація фахівців

$$T_B = \frac{Kt + t_y}{p^k P},$$

де K – середня кількість перевірок при локалізації дефекту;

t – середній час перевірки значення діагностичного параметру;

t_y – середній час усунення несправності;

p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

P – метрологічна надійність ЗВТ.

При цьому значення K залежить від якості ДЗ (виду алгоритму пошуку дефектів), p і P – від якості МЗ, а t і t_y – від кваліфікації фахівців.

Таким чином, необхідне значення K_T під час експлуатації РЕЗ можливо забезпечити зменшенням T_B за рахунок якісного МЗ і ДЗ, а також підготовки фахівців.

Розглянемо рішення цього завдання на прикладі найбільш загальної частини РЕЗ – підсистеми електроживлення. Відомо, що ця підсистема з точки зору діагностики відноситься до класу БВО і багаторежимних об'єктів.

Керівні документи вимагають від виробника одночасно зі створенням зразка РЕЗ розробку технології його ТО і ПР, тобто визначення необхідних для цього ЗВТ, розробки діагностичних програм для пошуку дефектів. Залежно від умов експлуатації РЕЗ можливе удосконалення МЗ і ДЗ використанням сучасних ЗВТ і досягнень технічної діагностики.

Реально при модульній конструкції РЕЗ, яка складається із блоків і ТЕЗ, використовують двох етапний процес діагностування: спочатку визначення несправного ТЕЗ, а потім несправного елементу в ньому. Найчастіше використовують варіанти, кількісна оцінка часу діагностування при реалізації яких приведена в табл. 2.9, де $K_e = \log_2 L/M$ – середня кількість перевірок при пошуку несправного елементу в ТЕЗ за УАД, L – загальна кількість елементів РЕЗ, M – кількість блоків, t_3 – середній час заміни блоку, t_n – середній час перевірки показників індикаторів або вбудованих ЗВТ.

Середній час діагностування виробу

№	Варіант	Середня кількість перевірок при пошуку блоку, K_{δ}	Середній час діагностування
1	Вимірювання вихідних сигналів	$\frac{(M-1)(M+2)}{2M}$	$T_1 = \left(\frac{K_{\delta}}{p^{K_{\delta}}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right) \frac{t}{P}$
2	Процедура пробних заміщень	$\frac{(M-1)(M+2)}{2M}$	$T_2 = K_{\delta} t_3 + \frac{K_e t}{p^{K_e} P}$
3	Перевірка показників індикаторів або вбудованих ЗВТ	M	$T_3 = \frac{t_n K_{\delta}}{p_1^{K_{\delta}} P_1} + \frac{K_e t}{p_2^{K_e} P_2}$

В табл. 2.8 приведено значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання діагностичного параметру. Показники метрологічної надійності ЗВТ приведені в табл. 2.2.

Розглянемо порівняння варіантів діагностування при однакових умовах: $L = 256$; $p = 0,9997$; $P = 0,98$; $t = 3$ хв; $t_3 = 1$ хв; $t_{\Pi} = 1$ хв.

Результати розрахунків згідно табл. 2.9 залежно від кількості конструктивних одиниць (блоків) виробу приведено на рис. 2.26 для $t = 3$ хв і на рис. 2.27 для $t = 2$ хв.

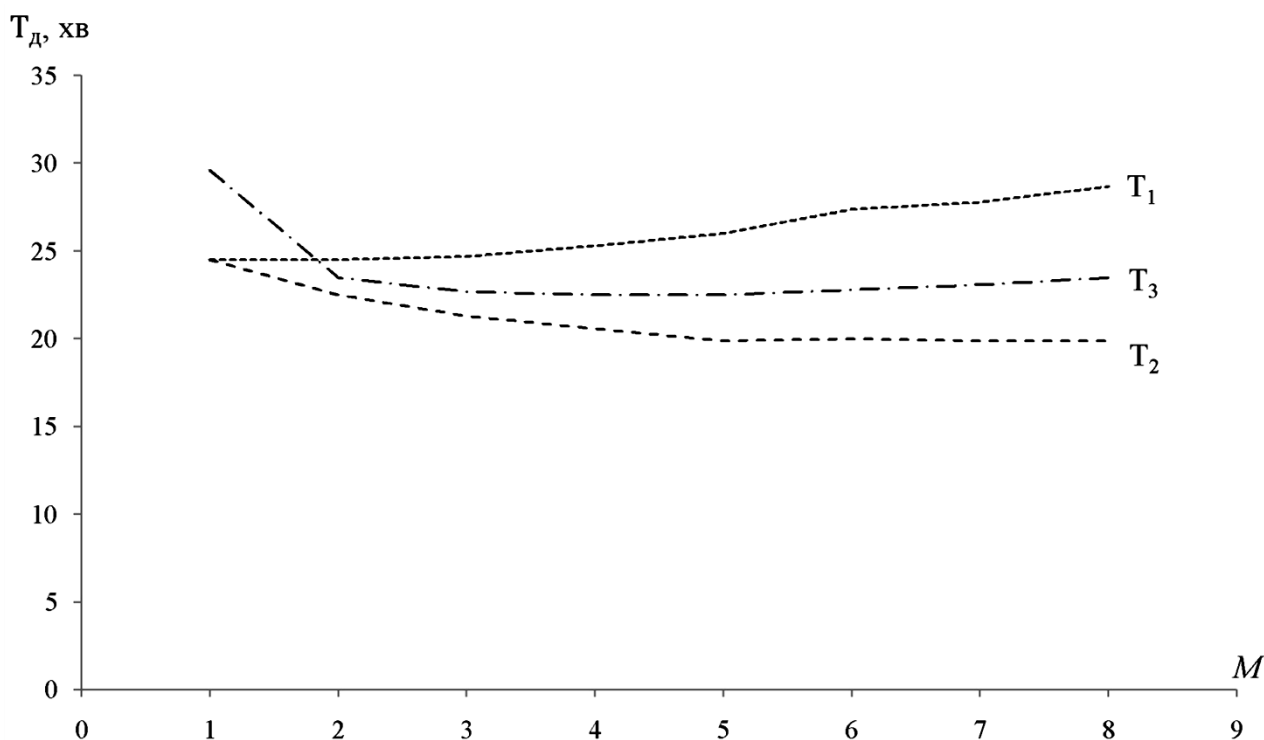


Рисунок 2.26 – Залежність середнього часу діагностування від кількості блоків при $t = 3$ хв

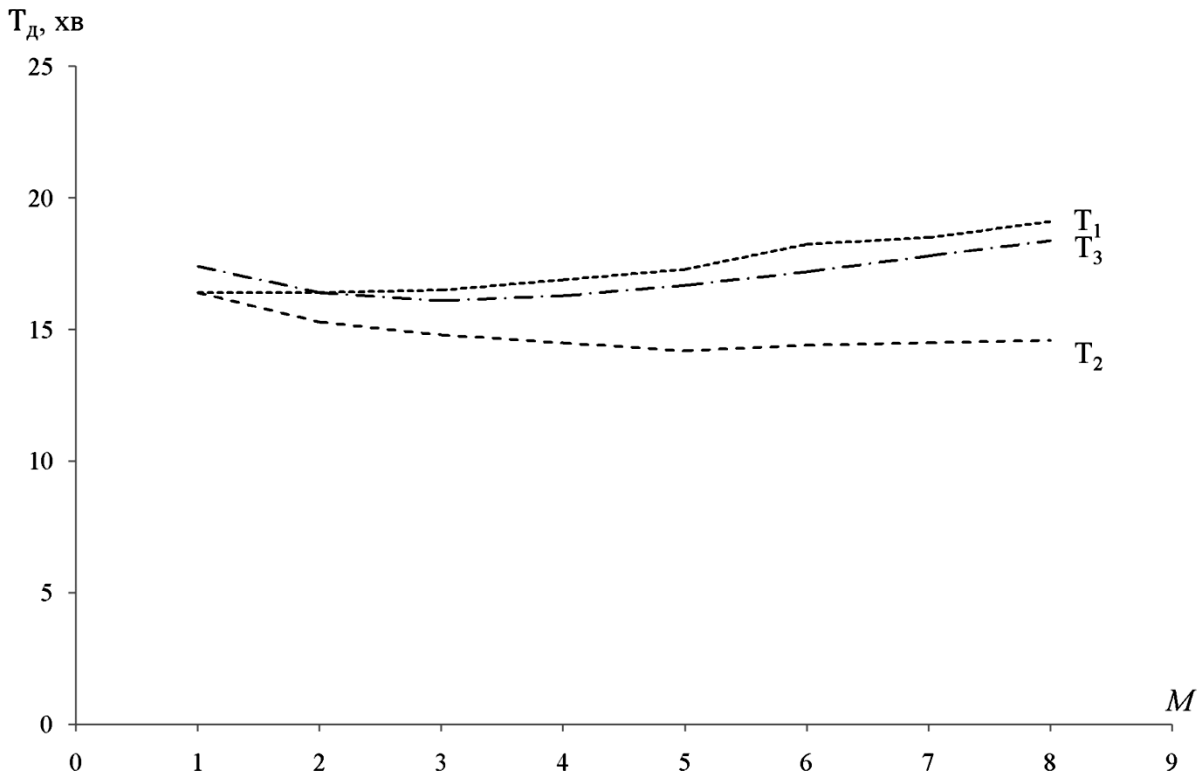


Рисунок 2.27 – Залежність середнього часу діагностування від кількості блоків при $t = 2$ хв

Аналіз отриманих залежностей показує, що неправильний вибір процедури діагностування збільшує час пошуку дефекту до 43% (рис. 2.26, $M = 8$, $T_1/T_2 = 1,425$), а також ділення об'єкту на ТЕЗ без врахування вимог забезпечення показників ремонтпридатності збільшує час діагностування на 31% (рис. 2.26, $T_3(M = 1)/T_3(M = 4) = 1,31$).

Зі збільшенням кількості блоків M при постійному числі елементів L функція $T_d(M)$ має мінімум тому, що час визначення несправного блоку збільшується, а час пошуку несправного елемента в ньому зменшується. Тобто під час проектування виробу можливо з врахуванням умов експлуатації оптимізувати конструкцію таким чином, щоб в подальшому мінімізувати час діагностування і забезпечити необхідне значення K_r , це завдання можливо вирішити традиційно із рівняння $\frac{dT_d}{dM} = 0$ або алгоритмічно за допомогою ЕОМ.

Порівняння рис. 2.26 і рис. 2.27 показує, що підвищення кваліфікації фахівців (скорочення часу виконання перевірки) зближує результати виконання варіантів діагностування.

Розглянемо можливість оптимізації конструкції виробу з використанням методів математичного аналізу для найбільш типового випадку – процедури пробних заміщень (табл. 2.9). В такому разі

$$\frac{dT_2}{dM} = \frac{p^{-\ln L / \ln 2}}{2M^2 (\ln 2)^2} \left[\ln 2 \left(t_3 (M^2 + 2) \ln 2 \cdot p^{\ln L / \ln 2} - 2 \frac{tM}{P} \right) + 2 \frac{tM}{P} \ln p \ln \frac{L}{M} \right].$$

Спростимо вираз з врахуванням того, що $p \approx 1$. При цьому $\ln p = 0$ і $p^{\ln \frac{L}{M} / \ln 2} = 1$. Тоді після перетворень отримуємо рівняння

$$\ln 2 \left(t_3 (M^2 + 2) \ln 2 - 2 \frac{tM}{P} \right) = 0,$$

яке має рішення при

$$M = \frac{t}{t_3 P \ln 2} + \sqrt{\left(\frac{t}{t_3 P \ln 2} \right)^2 - 2}.$$

Рішення існує, якщо $(t/t_3 P \ln 2)^2 \geq 2$, тобто $t/t_3 \geq (0,96P^2)^{0,5} = 0,98P$.

Для прикладу, що розглядається, необхідно виконання нерівності $t/t_3 \geq 0,96$ при $P = 0,98$. Або знаючи можливості фахівців ремонтного органу (t, t_3) заздалегідь визначити мінімально необхідне значення метрологічної надійності ЗВТ.

Для прикладу, що приведено на рис. 2.27 оптимальна кількість блоків відповідає результатам прямих обчислень, так як значення M округлюється до цілого числа.

Розглянемо використання отриманих результатів на прикладі діагностування блоку електроживлення БЗ-28 збуджувача і радіоприймача радіостанції середньої потужності за вихідними даними: $M = 14$; $L = 53$; $t = 2,5$ хв; $t_{\pi} = 0,5$ хв; $p_1 = 0,971$; $p_2 = 0,9993$; $P_1 = P_2 = 0,978$. Вихідні напруги перевіряють вбудованим вольтметром, запобіжники омметром приладу Ц-4340, а змінну і постійну напругу в блоці цифровим вольтметром В7-27А. В такому разі доцільно використовувати можливості вбудованої системи контролю, тобто третій варіант діагностування

$$T_3 = \frac{0,5 \cdot 14}{0,971^{14} \cdot 0,978} + \frac{2 \cdot 2,5}{0,9993^2 \cdot 0,978} = 16 \text{ хв},$$

що задовольняє вимогам.

Конструкція виробу не дозволяє реалізацію другого варіанту діагностування, тому він не розглядається.

Якщо використовувати перший варіант діагностування, то $T_1 = 29$ хв, що в 1,8 рази більше. Це показує як правильний вибір варіанту діагностування впливає на час відновлення працездатності РЕЗ.

Необхідні значення показників надійності РЕЗ в цілому і підсистем електроживлення в тому числі можливо забезпечити під час проєктування обґрунтованим вибором елементної бази і конструкції виробу, а також в

процесі експлуатації удосконаленням МЗ і ДЗ, використанням сучасних ЗВТ та досягнень технічної діагностики.

Подальші дослідження слід направити на створення конструкції РЕЗ, яка мінімізує середній час відновлення при отриманні об'єктом аварійних або бойових пошкоджень слабкого ступеню в польових умовах.

Питання для самоконтролю

1. В чому заключаються переваги та недоліки принципів організації технічного обслуговування засобів зв'язку ?

2. Значення яких показників при обслуговуванні засобів зв'язку задаються керівними документами?

3. Що враховує комплексний показник необхідності виконання перевірок під час технічного обслуговування за станом засобів зв'язку ?

4. Які вихідні данні необхідні для впровадження технічного обслуговування за станом засобів зв'язку?

5. Чому залежності часу відновлення багатовихідних об'єктів мають мінімум від кількості блоків при використанні будь яких процедур діагностування?

6. Чому значення показників експлуатаційної надійності не перевищують розрахунків під час проектування.

7. Яка процедура діагностування засобів зв'язку потребує мінімальних витрат на реалізацію?

8. Для чого необхідно виконувати опитування фахівців при реалізації методу ранжування підсистем засобів зв'язку для випровадження за станом?

9. Чому врахування метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки збільшує розрахунковий час виконання технічного обслуговування за станом засобів зв'язку?

10. Що є критерієм підсистем засобів зв'язку при їх технічному обслуговуванні за станом?

Завдання на самостійну роботу

1. Визначити вплив користувачів при рішенні всіх задач системи технічного обслуговування засобів зв'язку.

2. Оцініть вплив використання комплексного показника необхідності використання перевірок під час технічного обслуговування засобів зв'язку на ймовірність оцінки їх технічного стану і напрацювання на відмову перевірених підсистем.

3. Обґрунтуйте доцільність двохетапного процесу діагностування засобів зв'язку модульної конструкції.

4. Визначити умови впровадження групового пошуку дефектів.

5. Оцініть вплив якості метрологічного забезпечення на час виконання технічного обслуговування за станом засобів зв'язку.

6. Обґрунтуйте необхідність введення обмежень і припущень при реалізації методу ранжування підсистем засобу зв'язку для визначення послідовності їх перевірки під час технічного обслуговування за станом.

7. Поясніть, чому є затримка впровадження методу технічного обслуговування за станом засобів зв'язку.

РОЗДІЛ 3

РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Поточний ремонт ЗСЗ та усунення бойових або аварійних пошкоджень в польових умовах є досить важливою частиною технічної експлуатації, яку неможливо повністю формалізувати. Найбільший час особовий склад витрачає на пошук несправних елементів. При цьому використовують існуюче ДЗ та МЗ. Але теоретичні дослідження в цих галузях наукових знань при їх впровадженні в практику ремонту дозволяють суттєво скоротити середній час відновлення працездатності ЗСЗ.

В ЗСЗ при їх експлуатації на вузлах зв'язку виникають відмови, зумовлені виходом із ладу окремих елементів, порушенням настройки і регулювання вузлів. В міру вироблення технічного ресурсу погіршується якість роботи майже до повної втрати працездатності. В ході бойових дій ЗСЗ будуть виходити з ладу внаслідок бойових пошкоджень. У всіх перерахованих випадках виникає необхідність проведення ремонту, який являється одним із найважливіших заходів технічної експлуатації, поряд з ТО.

Ремонт – це комплекс заходів по відновленню справності або працездатності, а також відновленню ресурсу ЗСЗ, що проводиться по Єдиній системі комплексного технічного обслуговування і ремонту.

Тому мета розділу – обґрунтування практично реалізуємих рекомендацій у вигляді методик з використанням сучасних наукових досягнень для підвищення ефективності ремонту ЗСЗ в стаціонарних і польових умовах експлуатації.

3.1. Система ремонту технологічного обладнання

Відмови працездатності, які виникають в ЗСЗ в період їх експлуатації, викликаються різними, з точки зору теорії надійності, причинами.

Всі відмови можна умовно поділити на три групи:

Відмови, які викликані випадковим виходом з ладу окремих елементів, порушенням настройки вузлів апаратури, а також аварійним пошкодженням різного характеру.

Відмови, які пов'язані з погіршенням якості функціонування аж до повної втрати працездатності в зв'язку з відпрацюванням технічного ресурсу.

Відмови, які виникають, із-за бойових пошкоджень.

Усунення причин відмов усіх груп проводиться шляхом ремонту з усуненням несправностей, які викликані різними видами відмов, аварійних і бойових пошкоджень та поновленні технічного ресурсу. Фактично це і є задачі ремонту у вузькому понятті. Для рішення задач ефективного поновлення ЗСЗ та підтримання необхідного рівня укомплектованості ними вузлів, частин і підрозділів зв'язку – задача у широкому понятті – у Держспецзв'язку

побудована і функціонує система ремонту. Ця система розроблена таким чином, щоб вона:

задовольняла потреби військ у мирний час;

не потребувала істотної перебудови при переході до бойових дій.

Система ремонту ЗСЗ включає в себе об'єкти, які підлягають ремонту, засоби їх ремонту, виконавців і документацію.

До засобів ремонту належать технічні засоби для виконання відновлювальних робіт при проведенні ремонту, які включають контрольну-перевірочну апаратуру, стенди, установки, запасні частини, інструмент, пристрої і інше обладнання, зазначене в експлуатаційній і ремонтній документації.

Ремонт залежно від його складності проводиться особовим складом, за яким закріплені ЗСЗ, ремонтними підрозділами зв'язку вузлів і частин, ремонтними органами зв'язку і центрального підпорядкування за технологією, встановленою в експлуатаційній і ремонтній документації.

Начальники вузлів зв'язку (начальники зв'язку) і частин організують і забезпечують ремонт ЗСЗ, що знаходиться в їх віданні, а також засобів зв'язку і автоматизації зі складу комплексних об'єктів озброєння і військової техніки.

До ремонтних органів зв'язку належать стаціонарні майстерні, ремонтні заводи і бази. До ремонтних органів зв'язку центрального підпорядкування належать ремонтні заводи, бази і майстерні зв'язку.

Стаціонарні ремонтні органи зв'язку оснащуються технологічним обладнанням, необхідною ремонтною документацією, які забезпечують виконання всіх операцій, передбачених технологією ремонту, який проводиться цими ремонтними органами.

Ремонтні підрозділи зв'язку з'єднань і частин в умовах мирного часу ремонт ЗСЗ проводять в обладнаних відповідним чином стаціонарних майстернях або пунктах технічного обслуговування і ремонту (ПТОР).

Рухомі ремонтні частини і підрозділи зв'язку згідно з їх призначенням комплектуються АТЗ і апаратними для обслуговування і ремонту автомобільної техніки, які дозволяють виконувати в польових умовах вимірювання параметрів і характеристик при технічному обслуговуванні і проводити встановлені для них види ремонту комплексних об'єктів ЗСЗ певної номенклатури.

На ЗСЗ проводяться передбачені єдиною системою комплексного ремонту озброєння і військової техніки такі види ремонту:

поточний ремонт (ПР);

середній ремонт (СР);

капітальний ремонт (КР);

регламентований ремонт (РР);

ремонт за технічним станом (РТС).

В залежності від причин, які викликали необхідність проведення того чи іншого ремонту, вони поділяються на планові і непланові.

Вид ремонту, який проводиться, визначається технічним станом ЗСЗ. Для комплексних зразків з ремонтом основної складової частини поєднується за часом і місцем ремонт інших складових частин, від якого для кожної частини визначається її фактичним станом.

Розглянемо більш детально кожний із названих видів ремонту.

Неплановий ремонт

Неплановий ремонт включає в себе комплекс робіт по відновленню працездатності ЗСЗ після відмов, аварійних і бойових пошкоджень. Необхідність в його проведенні виникає у випадкові моменти часу, безпосередньо після встановлення факту втрати працездатності. Існують наступні види непланового ремонту:

- поточний ремонт у мирний час;
- поточний, середній і капітальний ремонти у військовий час.

Поточний ремонт ЗСЗ включає в себе комплекс робіт по забезпеченню або відновленню її працездатності після експлуатаційних відмов чи пошкоджень шляхом заміни і (або) відновлення окремих складових частин. За трудомісткістю і характером робіт, що виконуються, поточний ремонт розподіляється на три ступені складності:

поточний ремонт першого ступеня складності (ПР1);

поточний ремонт другого ступеня складності (ПР2);

поточний ремонт третього ступеня складності (ПР3).

До першого ступеня складності належить ПР, що зводиться до заміни функціональних вузлів і елементів, що легко знімаються, які відмовили, і виконання інших найпростіших операцій.

Поточний ремонт другого ступеня складності пов'язаний з пошуком і усуненням несправностей в схемах апаратури без застосування складних ЗВТ і спеціального обладнання. Цей вид ремонту може включати виконання таких операцій:

відновлення кабелів електроживлення, гарнітур, блоків електроживлення, антенних пристроїв;

заміну несправних індикаторних приладів, перемикачів, контактних колодок, механічних деталей та ін.;

пошук і заміну несправних блоків, плат, модулів і окремих елементів; усунення обривів і коротких замикань у монтажі;

відновлення працездатності окремих блоків, субблоків і плат;

проведення необхідних наладок і регулювальних робіт.

Поточний ремонт третього ступеня складності вимагає для пошуку елементів, які відмовили, і відновлення їх працездатності спеціальних ЗВТ і високої кваліфікації майстрів по ремонту. Цей вид ремонту може включати виконання таких операцій:

відновлення несправних блоків, каскадів, плат в інтегральному виконанні;

відновлення термостатів, герметизованих блоків;

відновлення високостабільних коливальних систем;

відновлення НВЧ контурів;

проведення складних регулювальних робіт.

Поточний ремонт першого і другого ступенів складності проводиться особовим складом екіпажів (чергової зміни), за якими закріплені ЗСЗ, із залученням при необхідності сил і засобів ремонтних підрозділів зв'язку і частин. Ремонтні роботи виконуються в стаціонарних майстернях зв'язку, ПТОР, місцях розташування техніки і польових умовах.

Як правило, відновлення працездатності засобів зв'язку після відмов, що потребують проведення операцій ПЗ третього ступеня складності, проводиться стаціонарними ремонтними органами зв'язку центрального підпорядкування.

Особливості проведення ПР мирного часу:

необхідність виконання і тривалість являються випадковими в часі,

характеризується обмеженістю сил і засобів;

носить випадковий характер (звідси - випадкова тривалість ремонту);

виконується у більшості випадків без зняття засобів зв'язку з експлуатації;

ремонтними роботами охоплюються тільки ті вузли, блоки, пристрої які викликають підозру на відмову.

Технологію ПР попередньо розробити неможливо в силу тих причин, які щойно перелічили, але сам процес ПР можна поділити на кілька основних технологічних операцій:

пошук елемента, який відмовив, або причин несправності – до 70% загального часу ремонту;

усунення несправності – до 15%;

післяремонтна перевірка працездатності – до 15%.

При проведенні ПР середній час ремонту визначається як

$$T_{\text{рем.сер.}} = K \cdot T_{\text{в.сер.}}$$

де середній час відновлення $T_{\text{в.сер.}} = T_{\text{пош.сер.}} + T_{\text{усун.сер.}} + T_{\text{пер.сер.}}$, $K = 2-10$ – коефіцієнт, враховуючий організаційні витрати часу. Для стаціонарних вузлів зв'язку – $K = 4-5$, а польових – $K = 6-8$.

Значна різниця між $T_{\text{рем.сер.}}$ та $T_{\text{в.сер.}}$ визначається недоліками матеріально-технічного забезпечення, недостатньо фаховою підготовкою особового складу, що приводить до значного збільшення часу, який витрачається на пошук несправності. Поточний ремонт виконується як екіпажем (25–30% робіт), так і ремонтними підрозділами частин (70–75% робіт).

Ремонт військового часу включає комплекс робіт по відновленню в можливо короткі терміни працездатності ЗСЗ, які отримали бойові пошкодження.

Процес відновлення пошкоджених засобів зв'язку, характер несправностей які підлягають усуненню, умови відновлення та вимоги до якості ремонту зовсім інші, ніж при ремонті в умовах мирного часу.

Працездатність та складність ремонту військового часу, а також вид ремонтних органів, що притягуються для його виконання, залежать від ступеню бойових пошкоджень. Ці пошкодження по ступеню ваги прийнято класифікувати на чотири групи:

- слабкі пошкодження;
- пошкодження середнього ступеню;
- сильні пошкодження;
- безповоротні втрати.

Слабкими пошкодженнями вважаються незначні порушення монтажу, пошкодження роз'ємів, кузову і т.п.

Пошкодження середнього ступеню: пошкодження керамічних деталей, значні порушення монтажу, деформація АКБ, значні пошкодження кузову, ходової частини та двигуна автомобіля і т.п.

Сильні пошкодження: зрив апаратури з кріплення, зрив деталей з плат, сильні пошкодження монтажу, пробоїни в апаратурі зв'язку, пошкодження транспортної бази, який потребує ремонту в ремонтних органах.

Для відновлення ЗСЗ, що отримали слабкі пошкодження, виконується ПР; які отримали середні пошкодження – роботи в обсязі СР, а для тих, що отримали сильні пошкодження – роботи в обсязі КР.

Безповоротні втрати характеризуються настільки значними пошкодженнями при яких неможливо відновити працездатність засобів зв'язку.

Відновлення працездатності апаратури проводиться, як правило, **агрегатним методом**, суть якого полягає в заміні блоків цілих комплектуючих виробів справними із числа тих, які зберегли працездатність при сильних пошкодженнях інших однотипних засобів зв'язку або отриманими зі складу, або завчасно відремонтованими.

Плановий ремонт

Планові ремонти отримали таку назву тому, що терміни їх проведення плануються завчасно з урахуванням встановленого міжремонтного ресурсу.

Метою планового ремонту є не тільки відновлення працездатності, а й часткове (СР) або повне(близьке до повного) відновлення (КР) технічного ресурсу.

- Характерні особливості планового ремонту:
- планування часу проведення;
- тимчасове виведення апаратури з експлуатації;

проведення робіт у спеціальних ремонтних органах;
виконання робіт по заздалегідь розробленій технології;
охоплення перевітками технічного стану всіх вузлів, блоків, агрегатів і т.п.

До планового ремонту відносяться СР і КР мирного часу. Необхідність чередування двох видів ремонту викликана тим, що термін служби різних груп елементів і деталей апаратури не однаковий.

Середній ремонт ЗСЗ полягає у відновленні працездатності і частковому відновленні витраченого ресурсу шляхом заміни або відновлення елементів, функціональних вузлів та інших комплектуючих виробів, які відмовили, пошкоджені чи досягли граничного стану. При середньому ремонті проводиться контроль технічного стану всіх блоків, приладів, агрегатів та інших складових частин ЗСЗ з доведенням при необхідності їх основних параметрів до норм, передбачених діючою нормативно-технічною документацією.

Середній ремонт, як правило, є плановим і проводиться після витрати міжремонтного ресурсу, якщо за своїм фактичним технічним станом ЗСЗ вимагають відновлення властивостей, які характеризують її здатність виконувати задані функції відповідно до призначення.

Середній ремонт ЗСЗ проводиться стаціонарними ремонтними органами зв'язку центрального підпорядкування, ремонтними органами об'єднань, а також може виконуватися силами ремонтних підрозділів зв'язку з'єднань (частин).

Капітальний ремонт здійснюється з метою відновлення справності і повного або близького до повного відновлення витраченого ресурсу ЗСЗ із заміною або відновленням будь-яких складових частин.

Капітальний ремонт, як правило, є плановим і проводиться після витрат міжремонтною ресурсу (терміну), встановленого для цього виду ремонту, або після 12 років зберігання, якщо за своїм фактичним технічним станом ЗСЗ вимагають ремонту.

При плановому капітальному ремонті проводяться: повне розбирання ЗСЗ; перевірка і дефектація всіх приладів, блоків, агрегатів та інших комплектуючих виробів; заміна або відновлення несправних або непрацездатних елементів; заміна всіх електрорадіоелементів, які витратили ресурс; відновлення монтажу, гальванічних і лакофарбових покриттів; відновлення написів і градування шкал; комплексна перевірка і випробування на відповідність вимогам технічних умов на капітальний ремонт.

Капітальний ремонт ЗСЗ проводиться на стаціонарних ремонтних підприємствах зв'язку центрального підпорядкування.

Регламентований ремонт вводиться за надходженням нормативно-технічної документації на цей вид ремонту конкретних зразків ЗСЗ. Регламентований ремонт полягає в повному (близькому до повного)

відновленні ресурсу ЗСЗ з обмеженим наробітком або яка знаходиться на тривалому зберіганні протягом значного періоду експлуатації (зберіганні).

Ремонт за технічним планом – це ремонт, при якому контроль технічного стану здійснюється з періодичністю і в обсязі, встановленими в нормативно-технічній документації, а обсяг і момент початку ремонту визначається технічним станом ЗСЗ. Проводиться на техніці зв'язку нового покоління з достатнім рівнем діагностичного обладнання.

Для ремонту ЗСЗ використовуються комплекти ЗП, електрорадіоелементи, електротехнічні вироби і інші запасні частини, які поставляються розсіпом.

Міжремонтні ресурси (тривалість) експлуатації

Як вже було помічено, планові ремонти (СР і КР) проводяться у відповідності з встановленими міжремонтними ресурсами(термінами) експлуатації.

Міжремонтний ресурс – це міжремонтний наробіток апаратури, при досягненні якого повинна бути проведена оцінка ТС з метою визначення можливості: продовження її експлуатації або прийняття рішення на організацію проведення планового ремонту.

Міжремонтний ресурс встановлюється диференційовано для кожного виду (типу) ЗСЗ з урахуванням наступних факторів:

умови експлуатації ЗСЗ в тому числі і кліматичні(помірний клімат, складні кліматичні умови, використання в польових чи стаціонарних об'єктах зв'язку і т.п.);

ступень зносу техніки, яка характеризується величиною загального наробітку з початку експлуатації.

Для засобів зв'язку всіх видів міжремонтні терміни експлуатації встановлено наказом, де приведені:

1. Річні норми використання технічного ресурсу ЗСЗ, наприклад:

радіостанція Р-161А1 – 850 годин;

апаратура ВЧ телефонування – 1000 годин;

апаратна П-245 – 1200 годин.

Ці норми приведені для бойової групи експлуатації, для навчально-бойової групи ця норма збільшується в 2 рази.

2. Формула ремонту , тобто, які види планового ремонту повинні бути проведені на засобі зв'язку, їх кількість і чергування. Наприклад:

радіостанція Р-161-А I – СКСК ;

апаратура ВЧ телефонування – СКСС;

апаратна П-245 – СКСКС.

3. Міжремонтні ресурси (терміни) експлуатації в годинах до першого середнього і першого капітального ремонтів, а також ресурс (термін) експлуатації до другого капітального ремонту. Наприклад:

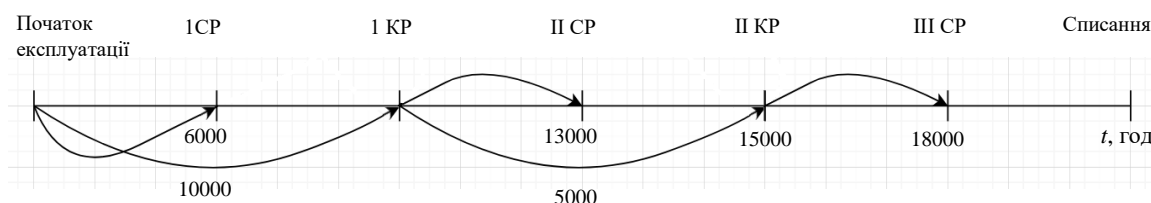
радіостанція Р-161-АI – 5500–9500; 5500;

апаратура ВЧ телефонування – 8000–15000;

апаратна П-245 – 6000–10000; 5000.

Перша цифра – термін до I СР; друга – до I КР; третя – до II КР. Терміни відраховуються до 1 СР, до 1 КР – з початку експлуатації виробу, а до II КР – з моменту виконання I КР.

При плануванні чергових СР необхідно керуватися наступним: в районах з помірним кліматом і з складними кліматичними умовами міжремонтний ресурс до другого СР (II СР) і наступних СР повинен складати не менше 50 %, а при експлуатації ЗСЗ у стаціонарних об'єктах – не менше 75 % від терміну (ресурсу) встановленого до 1 СР. Наприклад: для апаратної П-245 маємо:



Знання міжремонтних ресурсів (термінів) експлуатації необхідно для того, щоб завчасно передбачити потреби у плановому ремонті і своєчасно проводити заходи по плануванню і організації СР або КР.

В сучасних умовах відпрацювати ресурс до планового ремонту дуже складно, тому у наказі передбачено, що техніка зв'язку, яка не виробила встановлений міжремонтний термін до I КР, але знаходиться в експлуатації більше 7 років у складних кліматичних умовах, або більше 9 років у помірних кліматичних умовах, або більше 9 років в умовах стаціонарного об'єкту зв'язку – може бути віднесена до техніки, яка потребує I КР. Що ж до техніки довгострокового зберігання, то для неї КР проводиться після 12 років зберігання.

3.2. Матеріальна база і технічне забезпечення ремонту

Однією з складових частин системи ремонту, є засоби ремонту, до яких відносяться спеціальні об'єкти(приміщення, апаратні), обладнання, засоби вимірювання, стенди, інструмент та запасне майно і приладдя.

В стаціонарних умовах ремонт здійснюється, як правило, на ПТОР або військових майстернях зв'язку, а в польових умовах з цією метою використовують АТЗ.

Увагу звернемо на ремонтні комплекти запасних частин, матеріалів, приладдя (ЗП).

Ремонт техніки зв'язку і озброєння, як і їх ТО неможливі без якісного матеріального забезпечення, яке полягає у своєчасному і повному постачанні у війська:

комплектів ЗП і експлуатаційно-витратних матеріалів;

елементів електронної техніки;

паливно-мастильних матеріалів;
спеціальних рідин і багато іншого.

Матеріальне забезпечення здійснюється:

за рахунок майна, що виділяється достатніми службами по нормам витрат мирного часу та накопичення на воєнний час.

використання місцевих ресурсів і децентралізованого придбання матеріалів, запасних частин по статтям витрат кошторису .

виготовлення або відновлення деталей, агрегатів, вузлів своїми силами або на підприємствах місцевої промислової бази.

використання ремонтного фонду за рахунок списаної техніки.

використання трофейного майна у воєнний час.

Головним у матеріальному забезпеченні ремонту є використання комплектів ЗП. ЗП комплектуються в залежності від призначення і особливостей використання. В залежності від призначення ЗП буває експлуатаційний і ремонтний.

Експлуатаційний ЗП представлений одиночними і груповими комплектами, а також некомплектними запчастинами і матеріалами (ЗП в “роздріб”).

Ремонтні комплекти ЗП бувають двох видів: ЗП-Р № 1 – для капітального ремонту; ЗП-Р № 2 – для середнього ремонту.

Експлуатаційні ЗП призначені для забезпечення робіт ТО і ПР, а ремонтні – для забезпечення планових (СР і КР) ремонтів.

Розглянемо більш детально склад, порядок використання і поповнення різних видів ЗП.

Одиночний комплект (ЗП-О)

Одиночний комплект ЗП є складовою частиною окремого виробу(одиночного засобу зв'язку або групи різних засобів які експлуатуються у складі одного об'єкта).

Одиночний комплект ЗП (ЗП-0) включає в себе запасні частини, інструмент та приладдя, необхідні для проведення ТО і ПР силами обслуговуючого персоналу (особового складу екіпажу). Запасні частини повинні бути легко замінюваними (лампи, реле, резистори і т.п.), які не потребують, як правило, високої кваліфікації для їх встановлення замість тих, що вийшли з ладу, а також проведення складних операцій по післяремонтному регулюванню. ЗП-0 завжди повинен бути у комплекті основного виробу і використовується, як правило, у польових умовах. Використані елементи повинні бути поповнені, це робиться під час ТО , особливо ТО-1. Поповнення проводиться за рахунок ЗП-Г, а також елементів, що постачаються в “роздріб”.

Груповий комплект (ЗП-Г)

ЗП-Г призначається для забезпечення ПР і всіх видів робіт ТО в тому числі і для поповнення ЗП-О, деякого числа однотипних засобів зв'язку.

Наприклад, він призначається один на 5 радіостанцій середньої потужності або на 10 УКХ малопотужних радіостанцій, на 10 комплектів апаратури “АЗУР”, “ТОПАЗ” і т.п. Звичайно, що склад ЗП-Г для кожного типу апаратури буде свій і він визначається виробником техніки з урахуванням пропозицій військ.

ЗП-Г не поповнюється. При витраченні не менше 75%, вони як комплект списуються встановленим порядком, а залишки підлягають обліку як деталі “в роздріб”.

Ремонтні комплекти ЗП

Ремонтні комплекти ЗП призначені для забезпечення СР і КР визначеного числа однотипних виробів.

Так, один ремонтний комплект необхідно, наприклад, для КР одного великого стаціонарного об'єкту зв'язку або 5 автомобільних радіостанцій середньої потужності, або 10 комплектів багатоканальної апаратури і т.п.

ЗП-Р № 1 – містить в складі запасні частини, інструмент і приладдя, необхідні для забезпечення КР ЗСЗ, який проводиться силами військових ремонтних підрозділів(органів).

ЗП-Р № 2 – для забезпечення СР. Постачання ремонтних комплектів споживачам починається після закінчення гарантійного терміну експлуатації головної партії відповідного виробу. Постачається у ті частини або підрозділи, які мають право на виконання СР або КР даного типу апаратури.

Ремонтні комплекти списуються так, як ЗП-Г, після використання 95% складу.

ЗП в “РОЗДРІБ”

Запасні матеріали та елементи, що постачаються в “роздріб” призначаються для поповнення ЗП-О, а також для забезпечення робіт ТО і ПР. В “роздріб” ЗП на вузлах зв'язку постачає відділ постачання управління технічного забезпечення, а також вони можуть закуплятися за рахунок коштів визначеної статті кошторису в торговельних організаціях. Через роздрібну торговельну мережу дозволяється купувати інструмент, фарбу, дріт, елементи загального призначення і т.п.

Облік усіх видів ЗП проводиться згідно вимог керівних документів.

Організація ремонту ЗСЗ є фундаментом успішного рішення відповідних задач у військах на етапах планування ремонту, його матеріального забезпечення, підготовки техніки до відправки в ремонтні органи з поверненням і без повернення в частину, визначення підсумків економічної

роботи при експлуатації ЗСЗ в військових частинах і на вузлах зв'язку ДССЗЗІ України.

3.3. Предмет і задачі технічної діагностики

При експлуатації апаратури зв'язку одним із найбільш складних питань, що вимагає високої кваліфікації технічного персоналу, являється усунення відмов і відновлення працездатності. Пошук несправності займає 60–80% загальних витрат активного часу відновлення апаратури.

На практиці для пошуку несправностей користуються рядом прийомів і способів. На підставі накопиченого досвіду роботи з апаратурою і знання її слабких місць намічається програма дій, яка визначає можливі перевірки (випробування, вимірювання), їх черговість та способи проведення. Очевидно, що розробка такої програми кожний раз, як виникає відмова, здійснюється на підставі досвіду і інтуїції, тому деякі дії при пошуку можуть бути зайвими, а сам процес далеко не оптимальним по витратам часу і сил на його проведення.

Виникає питання: чи можна розробити програми пошуку несправностей для кожного типу апаратури своєчасно та мати їх в якості експлуатаційних документів? Це дозволить значно прискорити процес пошуку несправності і дає можливість здійснювати ремонт персоналом, який не має високої кваліфікації.

Розробка будь-якої програми повинна базуватись на визначеному методі, який повинен вказати, які проводяться перевірки (вимірювання), коли проводиться аналіз отриманої інформації і як ця інформація впливає на подальший хід процесу пошуку. Велика різноманітність апаратури не дозволяє запропонувати якийсь єдиний метод, на підставі якого можна розробляти програми пошуку для всіх окремих випадків.

Технічна діагностика – галузь знань, що досліджує ТС об'єкту діагностування, розробляючи методи його визначення, а також принципи побудови та організацію систем діагностування.

Діагностика – це наука, а процес пошуку дефектів – діагностування.

Дефект – будь яка невідповідність об'єкта заданим властивостям.

Виявлення дефекту – встановлення факту його наявності з визначеною точністю місця знаходження.

Об'єкт діагностування – виріб, або його складові частини, стан яких підлягає визначенню. Розділяють на аналогові (сигнали приймають будь які значення з деякої області) і дискретні (сигнали приймають тільки значення 0 або 1).

Задачі технічної діагностики: перевірка працездатності об'єкта; пошук несправностей; прогнозування стану об'єкта.

Мета технічної діагностики – контроль працездатності об'єкта при підготовці до використання і визначення несправного елемента при відмові об'єкта.

Показники якості:
коефіцієнт готовності

$$A=T/(T+ T_B);$$

середній час відновлення

$$T_в = T_д + T_y; \quad T_д \approx 0,8 T_в;$$

де $T_д$ – час діагностування; T_y – час усунення несправності.

Глибина пошуку дефекту – складова частина об'єкту з точністю до якої визначається місце дефекту.

Достовірність діагностування – ймовірність того, що істинний ТС об'єкту співпадає з діагнозом.

Діагностування технічних об'єктів здійснюється з використанням програмних, апаратурних або програмно-апаратурних засобів.

Систему діагностування утворюють взаємодіючі між собою об'єкт, виконавець (оператор, ремонтник), діагностичне забезпечення (програми пошуку дефектів, інструмент, технічне обладнання, засоби вимірювань).

Розрізняють системи функціонального (використовують тільки робочі сигнали) і тестового (використовують спеціально розроблені сигнали) діагностування.

По мірі розвитку ЗСЗ удосконалюють їх систему діагностування.

3.4. Методи пошуку дефектів у засобах спеціального зв'язку

У технічній діагностиці розроблені і детально досліджені три основні методи пошуку несправностей: метод послідовних поелементних перевірок, метод групових перевірок і комбінаційний метод.

Метод послідовних поелементних перевірок полягає в перевірці елементів системи, що відмовила, по одному у визначеній заздалегідь заданій послідовності, тобто по “твердій” програмі. Майстер, що ремонтує апаратуру, перевіряє стан кожного елемента окремо. Якщо елемент, що перевіряється, справний, перевіряється в зазначеній черговості наступний. Перевірка продовжується доти, поки не буде виявлений несправний елемент. Після заміни чи відновлення елемента проводиться перевірка функціонування системи. Якщо працездатність відновлена в основному режимі, перевіряється функціонування в інших режимах. У випадку якщо заміна (відновлення) елемента не приводить до відновлення працездатності системи, пошук продовжується шляхом перевірки наступних елементів у зазначеній черговості. Перевірка продовжується доти, поки не буде відновлена працездатність системи у всіх режимах. Так як функціональні зв'язки між елементами не впливають на послідовність перевірок і перевіряються усі без винятку

елементи, то метод застосуємо при будь-якій структурі апаратури. Однак при великому числі елементів у системі пошук пов'язаний з великими витратами часу на перевірку їхнього стану.

Крім того, в електронних схемах перевірки (випробування) окремих елементів, як правило, виявляються можливими тільки при їхньому відключенні від схеми, що в багатьох випадках пов'язано з трудомісткими складними технологічними операціями розбирання і розпайки.

Метод групових перевірок складається в послідовному випробуванні на справність не одного, а групи елементів. Після визначення групи елементів, у якій знаходиться несправний, група розбивається на підгрупи і визначається підгрупа, яка містить несправний елемент. Проведення послідовної серії випробувань шляхом розбивки на більш дрібні підгрупи дозволяє локалізувати несправний вузол, модуль і навіть окремий елемент. При цьому методі кожне наступне випробування залежить від результату попереднього, тому програму пошуку можна назвати гнучкою.

Приклад програми пошуку, складеної на основі методу групових перевірок для простої системи, що складає з восьми рівноцінних елементів, показаний на рис. 3. 1. У системі на виході кожного елемента є контрольна точка.

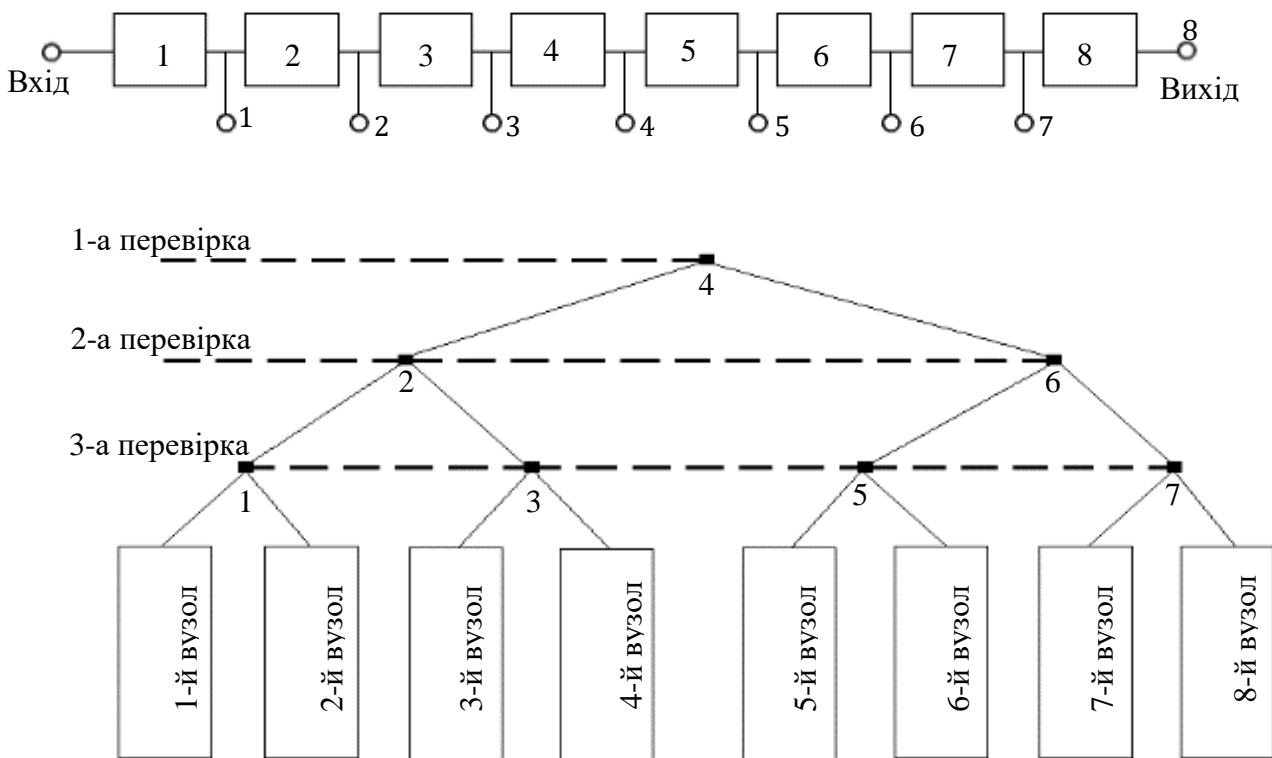


Рисунок 3.1 – Пошук несправностей методом групових перевірок

Стан груп елементів перевіряється по параметрах сигналів у контрольних точках. При подачі на вхід сигналу і при його відсутності на виході для даної системи доцільно спочатку перевірити наявність сигналу в четвертій

контрольній точки. Позитивний результат випробування (сигнал ϵ) свідчить про справність перших чотирьох елементів, а відсутність сигналу – про наявність серед цих елементів несправного. У залежності від результату першого випробування друге проводиться в другій чи шостій контрольних точках, третє випробування – у першій (третій) чи в п'ятій (сьомій) точці.

Трьох випробувань досить для виявлення несправного елемента.

Метод групових перевірок застосується в тих випадках, коли функціональна схема системи дозволяє робити її розподіл на послідовно звужені групи елементів, стан яких визначається шляхом проведення вимірювань одного чи декількох параметрів. Такий розподіл легко здійснити в апаратурі, функціональні вузли якої утворюють послідовні тракти проходження сигналів. Значна кількість засобів зв'язку має подібні послідовні тракти проходження сигналів, тому метод групових перевірок може знайти застосування при розробці програм пошуку несправностей при їх ПР.

Комбінаційний метод полягає в тому, що виробляється вимір визначеного набору електричних параметрів системи. Результат виміру кожного параметра оцінюється по двоїчній системі: “норма” (1) чи “не норма” (0). У залежності від комбінації одиниць і нулів всього оцінюваного набору контрольованих параметрів однозначно визначається несправний елемент системи. Цим обумовлене і найменування методу – комбінаційний. Різні комбінації параметрів, що знаходяться “у нормі” і “не в нормі”, можна виразити числами двоїчної системи рахування. Порядок вимірів параметрів може бути кожним, тому програма пошуку ϵ довільною. Аналіз результатів проводиться після закінчення вимірювань.

Сутність методу про ілюструємо простим прикладом. Нехай апаратура складається з восьми елементів, функціональні зв'язки яких показані на рис. 3.2.

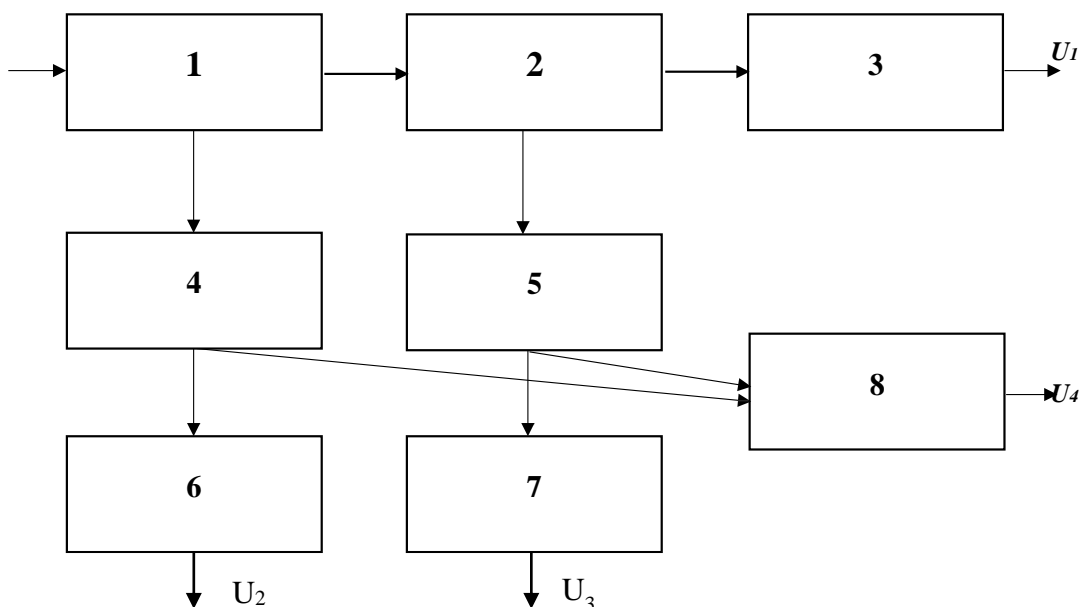


Рисунок 3.2 – Функціональні зв'язки радіоелектронної апаратури

Працездатність апаратури визначається наявністю сигналів із заданими значеннями параметрів на виходах третього, шостого, сьомого і восьмого елемента. Якщо виявиться несправним перший елемент, то при вимірюваннях виявляється відхилення від норми параметрів сигналів на всіх чотирьох виходах. Цьому випадку відповідає число 0000. При несправності другого елемента нормальний сигнал буде виявлений лише на виході шостого елемента. Цьому випадку відповідає число 0100. Перебравши усі варіанти несправних елементів, за умови, що несправним може бути лише один з них, одержимо вісім чисел, які зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Номер несправного елемента	Результати вимірювань на виходах елементів			
	3	6	7	8
Перший	0	0	0	0
Другий	0	1	0	0
Третій	0	1	1	1
Четвертий	1	0	1	0
П'ятий	1	1	0	0
Шостий	1	0	1	1
Сьомий	1	1	0	1
Восьмий	1	1	1	0

Кожному числу однозначно відповідає елемент, який відмовив. Застосування комбінаційного методу дає добрі результати при пошуку несправностей в апаратурі з розгалуженою структурою, складові частини якої беруть участь в утворенні різних за призначенням сигналів.

При розробці програм пошуку несправностей для складної апаратури зв'язку можуть використовуватися всі розглянуті методи. Визначення несправного блоку і вузла доцільно робити застосуванням комбінаційного чи групового методу, а визначення модуля елемента – методом поелементних перевірок.

Таким чином, застосування будь-якого методу пошуку несправностей базується на перевірках (випробовуваннях) або вимірюваннях з метою визначення стану складових частин апаратури. Вимірювання проводяться, як за допомогою вбудованих в апаратуру приладів, так і за допомогою переносних ЗВТ.

Перевірка стану елементів, модулів, вузлів проводиться різними способами. Розглянемо основні з них, які найбільш частіше застосовуються на практиці.

3.5. Способи перевірки стану елементів та вузлів засобів спеціального зв'язку

Практика виробила ряд способів перевірки апаратури зв'язку по частинам, а також прийомі по скороченню кількості перевірочних операцій. Найбільш відомі і розповсюджені наступні відпрацьовані практикою способи перевірки стану елементів та вузлів апаратури зв'язку при пошуку дефектів: зовнішнього огляду, проміжних вимірювань, заміни, порівняння, контрольних переключень

та регулювань.

Спосіб зовнішнього огляду полягає в огляді апаратури і виявленні елементів, що відмовили, по зовнішнім ознакам: механічним пошкодженням, порушенням контактних з'єднань, обривам монтажу і порушенням пайки, зносу рухомих деталей, ненормальному зовнішньому вигляду елементів (деформація корпусів, обвуглювання, сліди нагару і т.п.). Зовнішній огляд може проводитись при знеструмленому стані апаратури або під напругою, якщо це допускається правилами техніки безпеки. При огляді під напругою перевіряється відсутність іскріння, електричних пробоїв діелектриків, ступінь перегріву деталей, характер світіння електровакуумних приладів, шуми роботи двигунів, контакторів, перемикачів і т.п.

Достоїнством способу є його простота. Він може застосовуватися навіть недостатньо кваліфікованими ремонтниками. Спосіб зовнішнього огляду ефективний при відмовах апаратури, що мають аварійний характер чи характер бойових ушкоджень. Однак такі відмови виникають досить рідко. Тому спосіб застосовується в якості допоміжного, перед застосуванням інших способів.

Спосіб проміжних вимірювань полягає у вимірюванні в точках міжвузлових з'єднань струмів, напруги, рівнів, частот, форми сигналів і порівнянні результатів вимірювань з даними технічної документації. Апаратура перед вимірюваннями переводиться в режим випробовування. При необхідності подаються нормовані вхідні сигнали, що відповідають режиму роботи, для якого в технічній документації приведені кількісні значення параметрів або форма вимірюваних у проміжних точках сигналів. Цей спосіб перевірки дає об'єктивну оцінку стану елементів, що перевіряються. Однак його застосування вимагає наявності відповідних вимірювальних приладів, уміння правильно проводити вимірювання, карт напруг, опорів, а також наявності діаграм сигналів для значного числа контрольних точок, які мають спеціально виводи, так і не мають їх.

При відсутності необхідної технічної документації і відповідних ЗВТ використовуються такі способи перевірки, як спосіб заміни, порівняння, контрольних переключень і регулювань.

Спосіб заміни полягає в установці замість передбаченого несправного елемента – ідентичного, завідомо справного. Якщо після заміни елемента працездатність апаратури відновлюється, то очевидно, що елемент, що перевіряється, несправний. Цей спосіб перевірки дозволяє в ряді випадків досить швидко не тільки знаходити несправні елементи, але і відновлювати працездатність засобів зв'язку. Разом з тим спосіб має ряд суттєвих недоліків.

Для перевірки елементів способом заміни необхідних великий набір запасних деталей. Конструкція засобів зв'язку в більшості випадків не дозволяє провести швидку заміну більшої частини не тільки радіодеталей, але і вузлів апаратури. При цьому способі існує небезпека під час перевірки вивести з ладу справні елементи. Якщо відмова елемента, що перевіряється, викликана виходом з

ладу іншого елемента, то справний елемент, поставлений замість елемента, що перевіряється, може виявитися в перевантаженому, а іноді і аварійному режимі. При цьому істинна причина відмови так і залишається не встановленою.

Спосіб заміни найчастіше використовується при перевірках з'ємних блоків, виймальних плат і модулів, електровакуумних приладів у випадках, коли в одному місці експлуатується декілька однотипних комплектів засобів зв'язку.

Спосіб порівняння полягає в зіставленні електричних параметрів, що перевіряються, в ідентичних точках ремонтної і справної апаратури. Спосіб широко використовується в тих випадках, коли в технічній документації відсутні досить докладні діаграми або карти параметрів сигналів, а в місці експлуатації мається декілька однотипних комплектів засобів зв'язку.

На спеціалізованих робочих місцях по ремонту апаратури зв'язку нерідко застосовуються зразкові (завідомо справні) комплекти апаратури або окремі найбільш ненадійні блоки. У блоки, що перевіряються, від зразкових комплектів подаються відповідні технічним нормам напруга електроживлення і вхідні сигнали. Відхилення сигналів у проміжних точках перевіряємих по порівнянню зі зразковими блоками служать критерієм наявності несправності. Подальші роботи по встановленню причини несправності можуть проводитись з використанням інших способів.

Спосіб контрольних переключень і регулювань полягає у визначенні працездатності складових частин апаратури шляхом переключень режимів або проведенням регулювань за допомогою органів настройки. Апаратура послідовно переводиться в такі режими, при яких окремі вузли або навіть блоки не беруть участь у забезпеченні роботи. Зіставляючи стан апаратури в різних режимах, подається можливість визначити справність складових частин, що беруть участь у забезпеченні тільки деяких режимів. До зміни регулювань прибігають у тих випадках, коли зв'язані з ними зміни режимів роботи дозволяють судити про справність окремих елементів. При цьому широко використовуються вбудовані схеми індикації роботи апаратури, такі як спеціальні лампи, дзвінки, блокування, показання вбудованих приладів, зміна звуку роботи.

Спосіб контрольних переключень і регулювань особливо ефективний при наявності в засобах зв'язку вбудованої системи контролю працездатності. У цьому випадку визначається справність не тільки блоків, трактів і вузлів, але навіть окремих елементів, зокрема електронних ламп і реле.

Застосування того чи іншого методу пошуку несправностей і способу перевірки справності елементів апаратури залежить від конкретного типу засобів зв'язку й умов проведення ремонту. Однак у будь-якому випадку при розробці технології ПР необхідно прагнути до скорочення часу пошуку несправностей, тобто необхідно вишукувати оптимальні програми пошуку.

Розглянемо можливі напрямки підвищення достовірності результатів діагностування ЗСЗ, які приведено на рис. 3.3. При цьому доцільно використовувати надлишковість ЗСЗ (табл. 3.2)



Рисунок 3.3 – Використання надлишковості ЗСЗ для підвищення достовірності діагностування

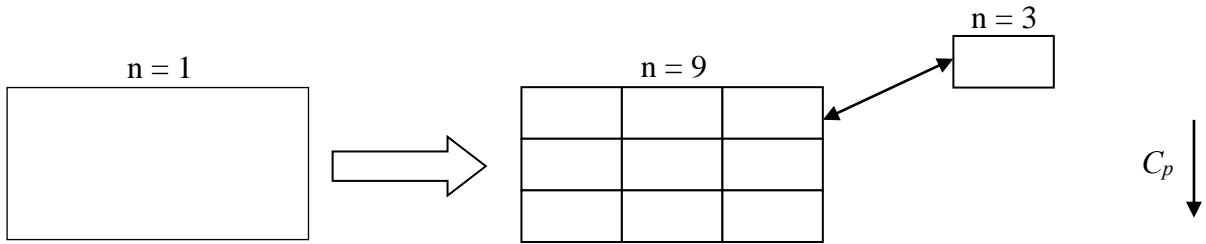
Таблиця 3.2.

Порівняльний аналіз варіантів підвищення достовірності діагностування ЗСЗ з використанням її надлишковості

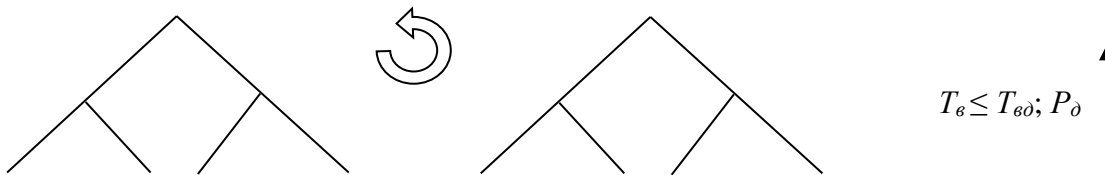
Варіант	Переваги	Недоліки
Конструктивна надлишковість	Реалізація ремонту агрегатним методом. Використання процедур пробних заміщень і узгодженого пошуку. Зменшення часу діагностування.	Застосування тільки для об'єктів модульної конструкції. Збільшення обсягу і вартості ЗПП.
Часова надлишковість	Простота реалізації. Відсутність додаткових матеріальних витрат.	Збільшення часу діагностування.
Структурна надлишковість	Зменшення кількості внутрішніх перевірок. Розрізнення незалежних кратних дефектів. Зменшення часу діагностування застосуванням неоднорідних алгоритмів.	Застосування тільки для об'єктів з дивергуючими структурами. Можливість постановки помилкових діагнозів при наявності кратних дефектів.
Функціональна надлишковість	Використання методу переключень. Скорочення простору пошуку. Зменшення часу діагностування граф-схемним зображенням алгоритмів пошуку дефектів.	Застосування тільки для багаторежимних і багатофункціональних об'єктів.
Інформаційна надлишковість	Можливість виявлення й усунення несправностей частини датчиків. Локалізація кратних дефектів. Зменшення часу діагностування застосуванням неоднорідних алгоритмів і групового пошуку дефектів.	Ускладнення апаратної реалізації засобів діагностування. Необхідність додаткової підготовки фахівців і використання дорогих засобів вимірювання.

Використання цих видів надлишковості пояснюється наступними прикладами (рис. 3.4).

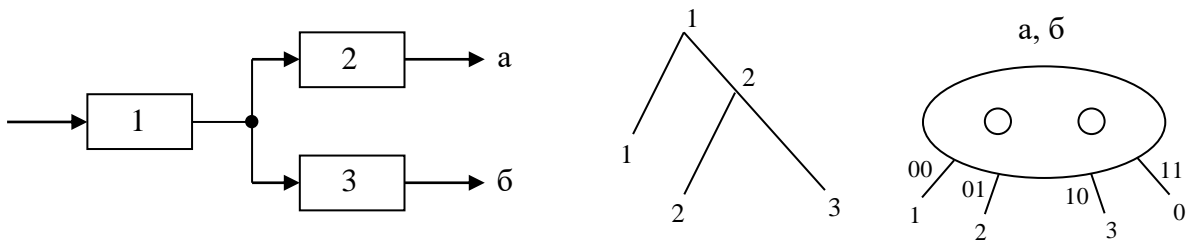
1. Конструктивна



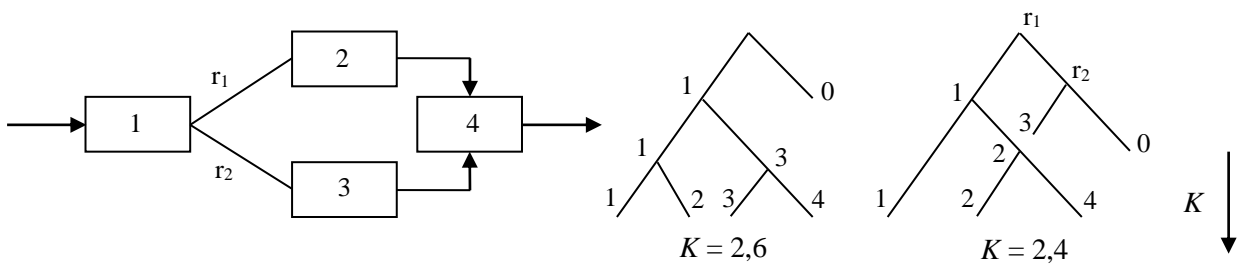
2. Часова



3. Структурна



4. Функціональна



5. Інформаційна

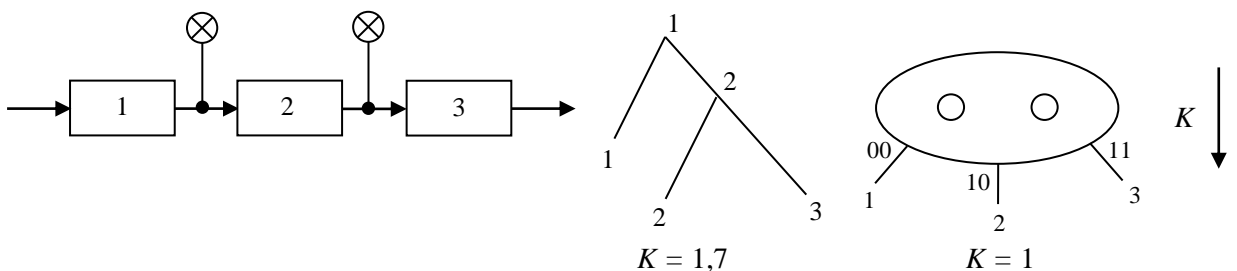


Рисунок 3.4 – Приклади використання надлишковості

Розглянути методи і способи пошуку дефектів, а також напрямки підвищення достовірності діагностування, доцільно використовувати під час поточного ремонту ЗСЗ. Їх застосування веде до зниження часу відновлення пошкоджених ЗСЗ, що важливе для забезпечення надійного зв'язку.

3.6. Класифікація моделей об'єктів, алгоритмів та засобів діагностування

Класифікація моделей об'єктів діагностування

Під *об'єктом* технічного діагностування (ОД) розуміють виріб або його складові частини, ТС яких підлягає визначенню. По характеру перетворення енергії і інформації ОД поділяються на **безперервні (аналогові) і дискретні (цифрові)**. Формальний опис ОД, який враховує можливість зміни його стану в часі називається **діагностичною моделлю**. Подібні моделі повинні володіти властивостями виявлення і розрізнення дефектів.

Радіоелектронні системи, які складають основу військової техніки зв'язку, як ОД і моделювання володіють функціональною різноманітністю, ієрархічною конструкцією і відрізняються складністю виконуваних задач, високою автономністю, високою ціною наслідків відмов, що дозволяє віднести їх до категорії складних систем, які представляються **основними групами діагностичних моделей** (рис. 3.5):

безперервні моделі, які представляють об'єкт і процеси, що в ньому протікають в безперервно змінюваному часі;

дискретні моделі, які визначають стан ОД для послідовності дискретних значень часу;

гібридні моделі, які описують реальні об'єкти, що складаються з пристроїв безперервної дії і дискретних пристроїв;

спеціальні моделі, які враховують особливості діагностичного забезпечення і функціонування об'єкта.

По видам представлення взаємозв'язків між станом ОД, його елементами і параметрами вихідних сигналів методи синтезу моделей поділяються на аналітичні, графоаналітичні, функціонально-логічні і інформаційні.

Узагальнена класифікація моделей ОД приведена на рис. 3.5. **Словесні або описувані** моделі є найпростішими, але досить широко використовуються не тільки в технічній, але і в медичній діагностиці. До них відносяться симптоми стану ОД і таблиці типових несправностей. Подібні моделі використовуються при підготовці ремонтного персоналу в процесі ремонту складної побутової радіоелектронної апаратури спеціалістами низької кваліфікації.

Графічні моделі володіють наглядністю, відображають логіку взаємодії елементів об'єкта, проходження енергії і інформації. Використовуються для розробки алгоритмів діагностування, які розрізняють дефекти типу обрив і перевантаження (КЗ). Подібні моделі мають обмеження: елементи можуть мати будь-яке число входів, але тільки один вихід.

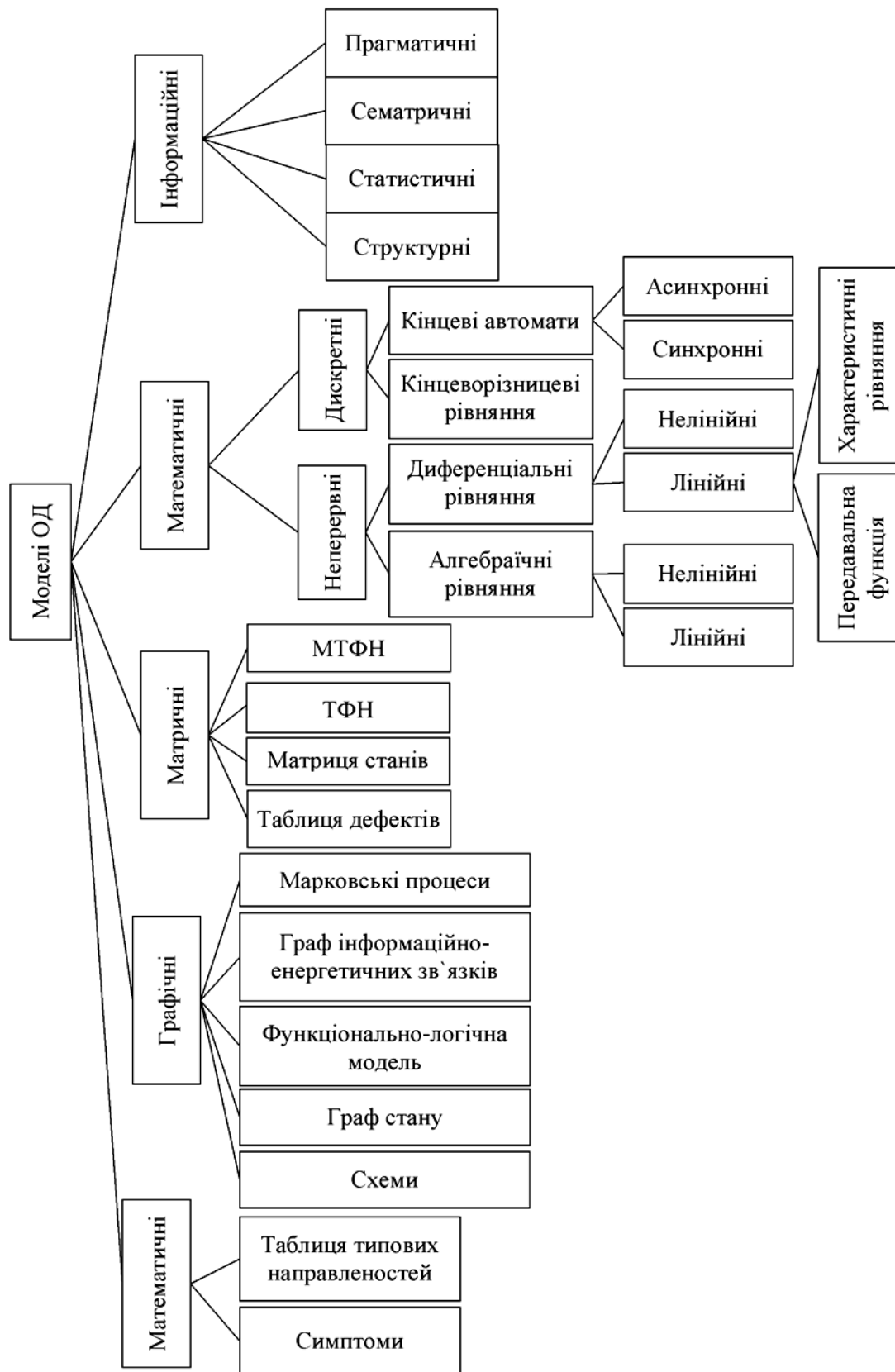


Рисунок 3.5 – Класифікація моделей об'єктів діагностування

Матричні моделі зручні для обробки за допомогою ЕОМ і не вимагають від користувача високої кваліфікації при підготовці вихідних даних. На їх базі можливий синтез як умовних, так і безумовних алгоритмів діагностування. Ці моделі мають обмеження на ступінь пошкодження об'єкта: при наявності кратних дефектів можливе встановлення неправдивого діагнозу. Вони можуть подаватись в формі таблиці дефектів, матриці станів, таблиці функцій

несправностей (ТФН) або мінімізованої ТФН і широко використовуються при розробці засобів технічного діагностування (ЗТД).

Математичні і інформаційні моделі використовуються головним чином при проектуванні засобів і систем технічного діагностування (СТД) складних об'єктів на базі ЕОМ. Так, наприклад, застосування моделей в виді диз'юнктивно-нормальної форми (ДНФ) або мінімальної ДНФ на мові алгебри логіки при синтезі ЗТД знімає обмеження на кратність дефектів в об'єкті і на число виходів його елементів.

Аналіз моделей ОД показує їх взаємозв'язок і можливість перетворення з одного виду в інший в залежності від задач, які вирішуються ДЗ (розробка алгоритмів або засобів діагностування) і кваліфікації користувача.

В залежності від використання процедур діагностування, які встановлюють послідовність і зміст дій оператора, розрізняють тестове і функціональне діагностування. Процедури зовнішнього огляду, проміжних вимірювань і пробних заміщень є універсальними. При тестовому діагностуванні використовується аналіз деформації сигналу, послідовна або комбінаторна процедури. При функціональному діагностуванні об'єктів з кратними дефектами застосовуються специфічні усічені процедури пошуку.

Моделі алгоритмів діагностування

В загальному випадку під алгоритмом розуміється математична система операції або кінцева послідовність правил і вказівок, яка після їх виконання приводить до рішення поставленої задачі.

Можна виділити емпіричні властивості алгоритмів: дискретність, направленість, детермінованість (відсутність безвихідних ситуацій) і масовість (придатність для рішення заданого класу задач). При розробці машинно-орієнтованих алгоритмів до них пред'являються додаткові вимоги:

сходимість (незалежно від отриманої додаткової інформації з деякого моменту часу перестає покращуватись і перестроюватись);

ефективність (мінімізація деякої функції, яка визначає долю помилкових рішень);

конструктивність (приємливість з позицій витрат машинного часу і оперативної пам'яті).

Розрізняють чисельні і логічні алгоритми, а також способи їх задання: алгебраїчна (список послідовних приписів) або геометрична (у вигляді направленої графу, який задається множиною вершин і зв'язків) форма.

В технічній діагностиці розрізняють безумовні та умовні алгоритми пошуку дефектів.

Безумовні алгоритми для встановлення діагнозу вимагають виконання повної сукупності приписів перевірок (в будь-якій послідовності), що в більшості випадків являється надлишковим, але зручні для обробки результатів з використанням ЕОМ.

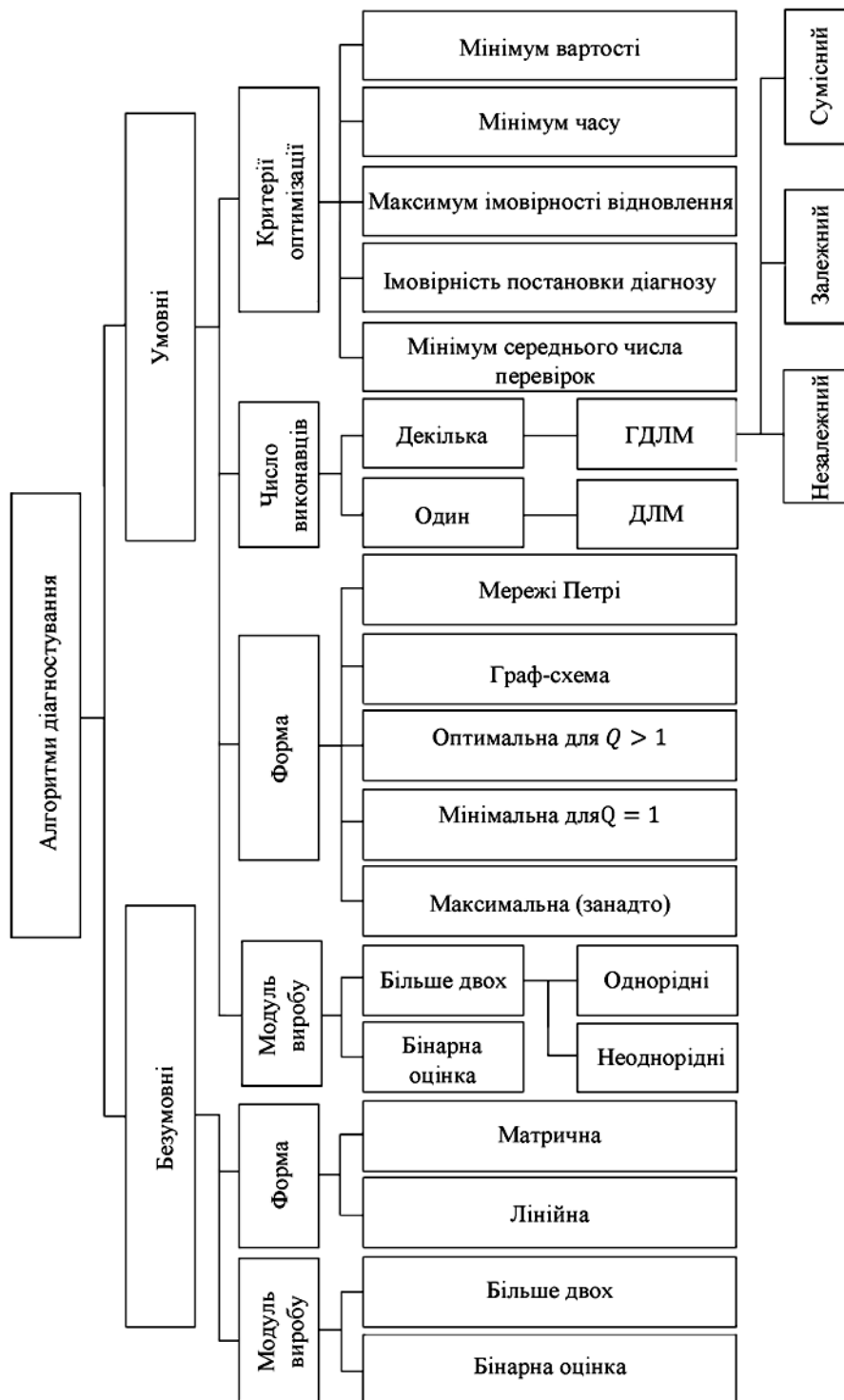


Рисунок 3.6 – Класифікація алгоритмів діагностування

В умовних алгоритмах порядок виконання наступних перевірок залежить від результатів аналізу попередніх, тобто порядок виконання перевірок в кожному конкретному випадку заздалегідь не передбачено. Такі алгоритми відрізняються мінімально необхідним числом перевірок для встановлення діагнозу, наглядністю для сприйняття оператором, практичністю при ремонті ЗСЗ.

Класифікація алгоритмів діагностування приведена на рис. 3.6. В залежності від модуля вибору елементарних перевірок алгоритми поділяються

на бінарні і небінарні, які відрізняються високою ефективністю внаслідок більш повного використання інформації, отриманої в результаті виконання перевірок. По формі подання безумовні алгоритми поділяються на списочні і матричні, які розглядаються при аналізі моделі ОД.

Якщо визначення ТС проводиться після виконання всіх елементарних перевірок, які входять в алгоритм діагностування (АД), то він називається алгоритмом з безумовною зупинкою (позначається буквою “б”).

Якщо ж результати виконання елементарних перевірок аналізуються будь-який раз і визначення технічного стану проводиться в міру накопичення діагностичної інформації, то мова йде про алгоритм з умовною зупинкою (у).

Тоді всі алгоритми технічного діагностування можна віднести до одного з наступних трьох видів (рис. 3.7.):

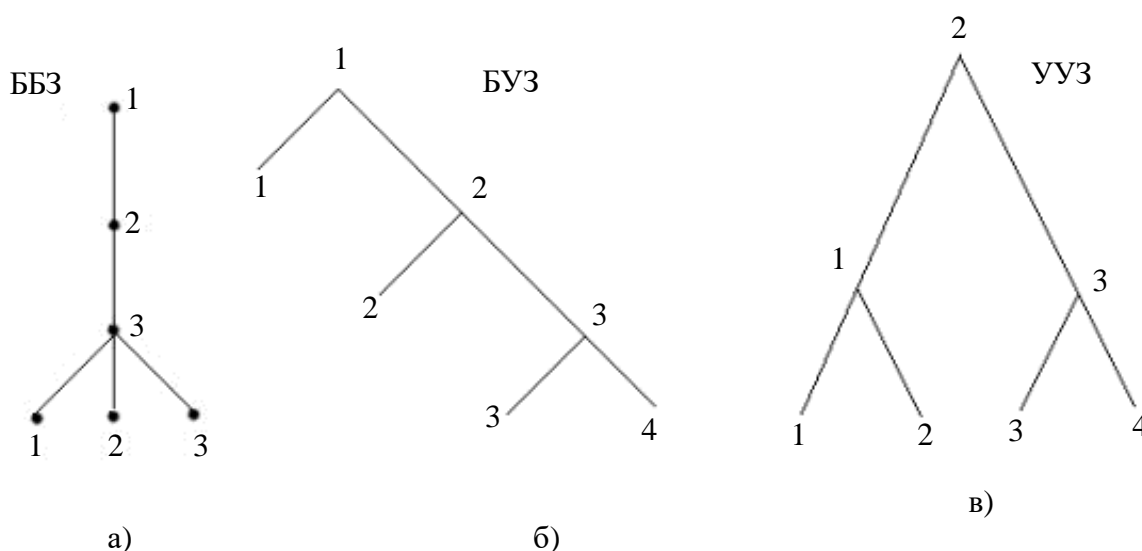


Рисунок 3.7 – Види алгоритмів діагностування

АД безумовні з безумовною зупинкою (Бб);

АД безумовні з умовною зупинкою (Бу);

АД умовні з умовною зупинкою (Уу).

Умовні алгоритми діагностування по формі подання поділяються на дерева логічних можливостей (ДЛМ), тобто планарні графи, які не містять циклів, максимальної або мінімальної форми для визначеної кратності дефектів, також на граф-схеми і мережі Петрі. При діагностуванні об'єкта бригадою ремонтників використовуються групові ДЛМ.

Розглянемо деякий довільний алгоритм функціонального діагностування. Для відображення структури різних класів зручно використовувати ДЛМ з одною або кількома кореневими вершинами. Найбільше призначення знайшли бінарні дерева, які мають такі властивості:

кожна вершина дерева має не більше двох вихідних і одну вхідну дугу;

у дереві завжди знаходиться одна вершина, яка називається кореневою і не має вхідної дуги, а також кінцевих або висячих вершин, які не мають

вихідних дуг.

Приклади таких дерев зображені на рис. 3.7.

Вершини кожного дерева, за виключенням висячих вершин, помічені точками. Вершини пронумеровані довільним способом, дерева вважаються орієнтованими зверху вниз. Треба звернути увагу на те, що дерева на рис. 3.7 відповідають алгоритмам діагностування різних видів:

Форма умовних алгоритмів оптимізується за різними критеріями в залежності від наявності вихідної інформації про ОД і умовах ремонту (рис. 3.6): **мінімум середнього числа** перевірок;

імовірність пріоритетного вибору (облік імовірностей відмови окремих елементів, часу виконання перевірок і усунення несправностей);

максимум імовірності відновлення працездатності ОД при обмеженому часі або вартості;

мінімум T_s при обмеженнях на вартість;

мінімум вартості відновлення працездатності при обмеженнях в часі.

Класифікація засобів діагностування і контролю

Засоби зв'язку і управління зовнішньо статичні, це означає, що більшість параметрів не вдається спостерігати неозброєним оком. Для перетворення діагностичних параметрів в форму, зручну для спостереження, перевірки і оцінки, застосовують засоби діагностування. Вони являються основною складовою частиною систем технічної діагностики (СТД), визначають експлуатаційно-технічні характеристики цих систем і представляють всю необхідну інформацію споживачам про технічний стан РЕЗ, що діагностуються.

До засобів діагностування відносяться різноманітні стимулятори дії і перетворювачі значень діагностичних параметрів. В якості засобів діагностування використовуються стандартні ЗВТ (генератори, пристрої для вимірювання фізичних величин), різноманітні сигналізатори, порогові пристрої і логічні щупи та аналізатори.

Класифікація засобів ЗТД може бути приведена за різними характеристиками. Один із можливих варіантів класифікації приведений на рис. 3.8 (а, б). Класифікуючи ЗТД, як складову частину РЕЗ, їх можна поділити **на засоби:**

універсального застосування (цифрові обчислювальні машини) і засоби спеціалізованого застосування;

вбудованого контролю і засоби з зовнішнім контролем (об'єкт і засоби відокремлені один від одного і являються самостійними пристроями);

автоматичні (більше 90% операцій виконуються автоматично), автоматизовані (40...90% автоматично); ручні.

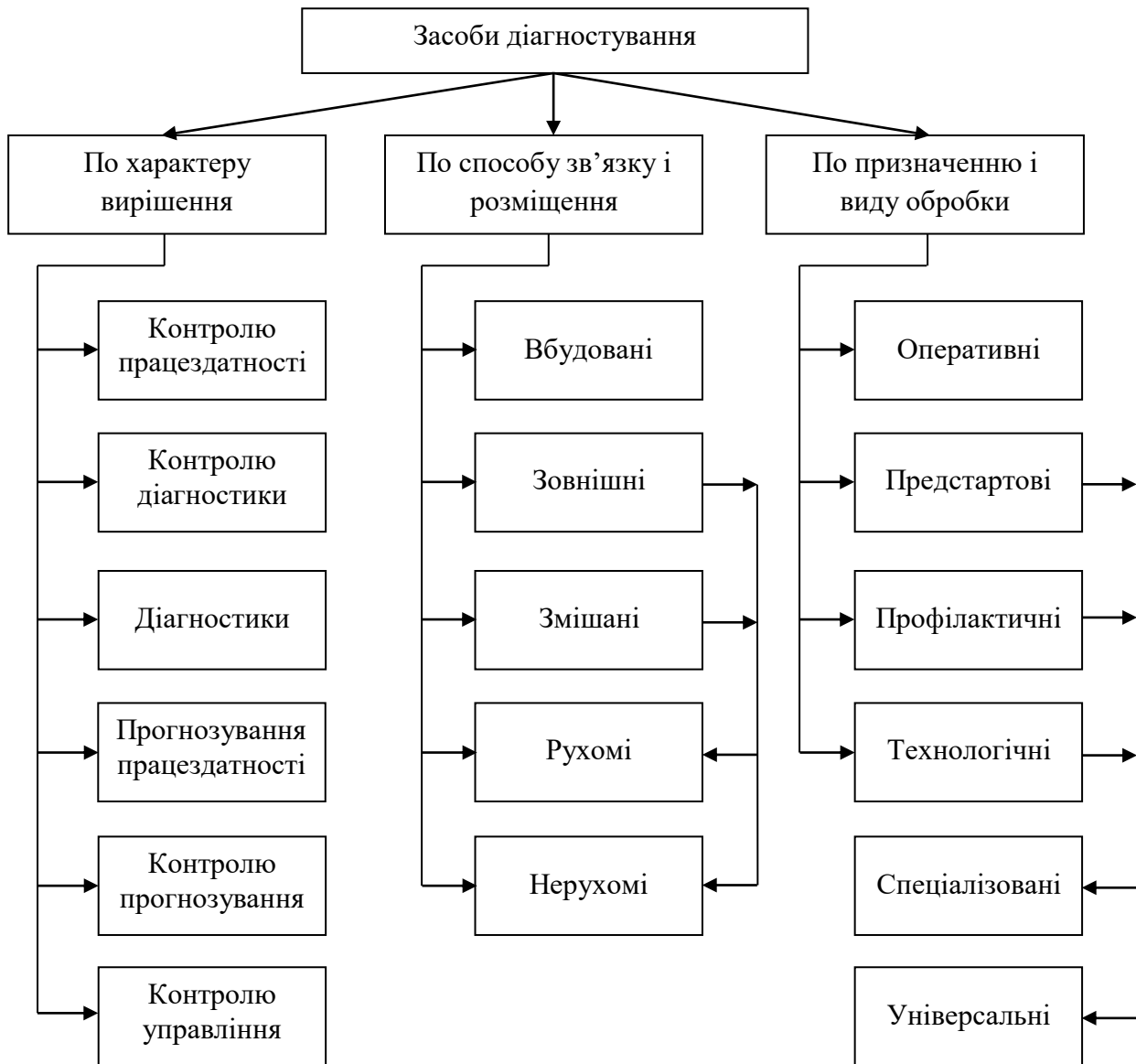


Рисунок 3.8(а) – Класифікація засобів діагностування

Класифікація СТД дозволяє дати опис призначення засобів контролю, способів контролю і зв'язку з об'єктом, способів знімання та обробки інформації.

Найбільш широке розповсюдження мають СТД, які оцінюють технічний стан об'єкта в момент контролю, однак в останній час отримали розвиток і ЗДК з прогнозуванням працездатності.

По характеру вирішення задач розрізняють чотири групи автоматичних систем контролю. **Першу групу** складають засоби, що вирішують задачу контролю працездатності об'єкта. До **другої групи** відносяться ЗТД, які послідовно здійснюють контроль працездатності, пошук і локалізацію несправностей. До **третьої** – засоби, які забезпечують тільки пошук і локалізацію несправностей. До **четвертої** – ЗТД, які прогнозують стан працездатності ОД. Дані системи використовують для визначення часу безвідмовної роботи об'єктів контролю і організації оптимальних програм пошуку несправностей.



Рисунок 3.8(б) – Класифікація засобів діагностування

По способу зв'язку з об'єктом контролю ЗДК поділяють на вбудовані, зовнішні і змішані. Для вбудованих автоматичних систем контролю характерно електричне і конструктивне об'єднання ОД і засобів з індикацією або записом результатів. Такі системи забезпечують функціональний контроль основних пристроїв, що визначають працездатність РЕЗ.

Зовнішні ЗТД не мають конструктивних, контактних-електричних зв'язків з ОД, інформація про стан якого поступає в ЗТД за рахунок електромагнітного, світлового або теплового випромінювання. Зовнішні ЗТД автономні і застосовуються під час підготовки ОД. Основною перевагою зовнішніх ЗТД являється можливість використання їх для різних об'єктів.

Змішані ЗТД мають вбудовані в об'єкт датчики-перетворювачі, які забезпечують отримання інформації про його стан, і конструктивно

відокремлені від ОД аналізуючі пристрої.

Різноманітність технічних рішень при побудові ЗТД невинно зростає по мірі розробки нових систем. В цих умовах велике значення набувають питання вибору сукупності критеріїв, характеристик і параметрів, по яким можна оцінити і порівняти різноманітні ЗТД і в кожному конкретному випадку вибрати найбільш раціональний варіант побудови системи. Основними із цих характеристик необхідно вважати ті, що визначають ступінь удосконалення ЗТД при рішенні задач: контролю працездатності, пошуку місця відмови, прогнозування стану, прогнозування надійності. Ці задачі вирішуються в тісній взаємодії ОД і ЗТД. Тому ефективність виконання об'єктом поставленої задачі залежить в рівному ступені як від параметрів засобів, так і від параметрів об'єкта діагностування і контролю. Вибираючи ті або інші параметри ОД і ЗТД необхідно завжди мати в виду і оцінювати їх взаємозв'язки та пам'ятати, що СТД, в свою чергу, є частина системи вищого ієрархічного рівня.

3.7. Побудова діагностичних моделей і алгоритмів пошуку дефектів

Правила побудови графа інформаційно-енергетичних зв'язків

Граф інформаційно-енергетичних зв'язків ГІЕЗ представляє собою сукупність вершин, число яких дорівнює числу елементів на прийнятій глибині пошуку (діагностування) і дуг, що з'єднують ці вершини які вказують напрямок про джерела відмови типу обрив і перевантаження (КЗ).

Граф інформаційно-енергетичних зв'язків, вершини якого позначають елементи – джерела відмов, а дуги – зв'язки між ними, являється **діагностичною моделлю** апаратури зв'язку. Для його побудови вводяться наступні умови:

елемент справний, якщо при номінальних значеннях всіх вхідних сигналів, вихідний також в припустимих межах;

всі зовнішні впливи завжди справні;

кожний елемент має будь-яку кількість входів і тільки один вихід;

напрямки передачі енергії і інформаційних сигналів визначають логічні зв'язки між елементами;

зв'язки між елементами вважаються безвідмовними і мають орієнтований характер;

напрямки інформаційно-енергетичних зв'язків між елементами як джерела обривів збігаються з напрямками передачі сигналів і напруг живлення в справній системі;

напрямки енергетичних зв'язків між джерелами перевантажень зворотні напрямку подачі напруг живлення і закінчуються на елементах,

критичних до перевантаження і являються звичайними пристроями захисту.

Елементи апаратури, які являються первинними джерелами інформаційних сигналів і енергії або одержують енергію (сигнали) від

зовнішніх джерел, зображуються вершинами ГІЕЗ, що називаються вхідними.

Якщо апаратура має один чи декілька елементів, що є вихідними для всієї апаратури, то відповідні їм вершини ГІЕЗ називаються вихідними.

Для нумерації вершин ГІЕЗ вводиться індекс попередження, який дорівнює числу вершин, що знаходяться попереду даної на всіх шляхах графа плюс одиниця. Якщо індекси попередження декількох вершин однакові, то застосовується додаткова довільна індексація елементів (рис. 3.9).

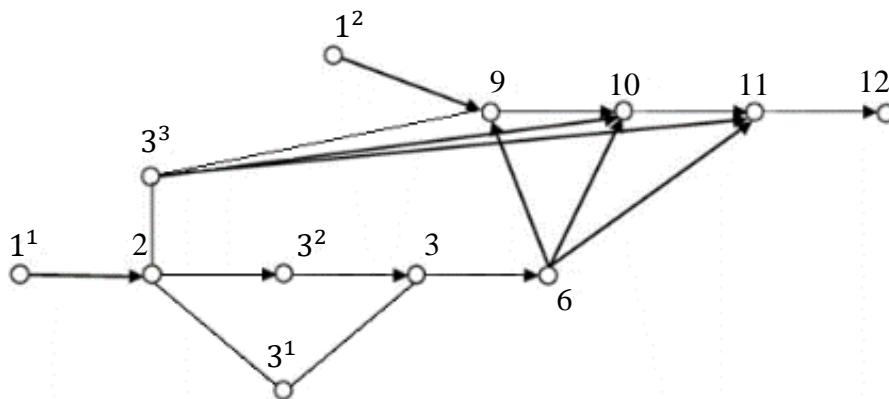


Рисунок 3.9 – Приклад визначення індексів попередження

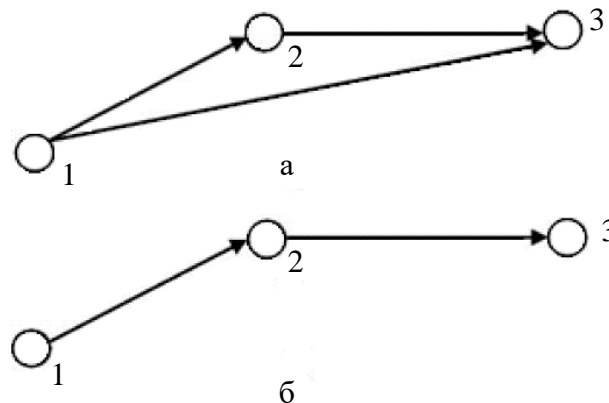


Рисунок 3.10 – Приклад транзитивного замикання

Якщо вершини ГІЕЗ крім послідовного з'єднання один з одним мають безпосередні зв'язки через один, два або більше елементів, то такі зв'язки як несуттєві для діагностування (які не змінюють індекси попередження) виключаються з ГІЕЗ, як показано на рис. 3.10, називаються транзитивними.

Елемент апаратури на будь-якому рівні ділення (ЕРЕ, ТЕЗ) може служити джерелом декількох несумісних відмов:

у ланцюгах споживання енергії – джерелом обривів або перевантажень по кожному із видів споживання енергії;

при наявності в елементі декількох незалежних ланцюгів проходження сигналів – джерелом обривів або погіршення властивостей по кожній з них.

В результаті обриву чи погіршення допустимих меж властивостей елемента апаратури наступні за ним елементи залишаються працездатними, але режим їхнього функціонування змінюється. Тому інформацію з місця обриву варто одержувати шляхом перевірки стану елементів у напрямку проходження сигналів від входу до виходу.

Зворотні зв'язки розривають і створюють додаткові входи і виходи (рис. 3.11).

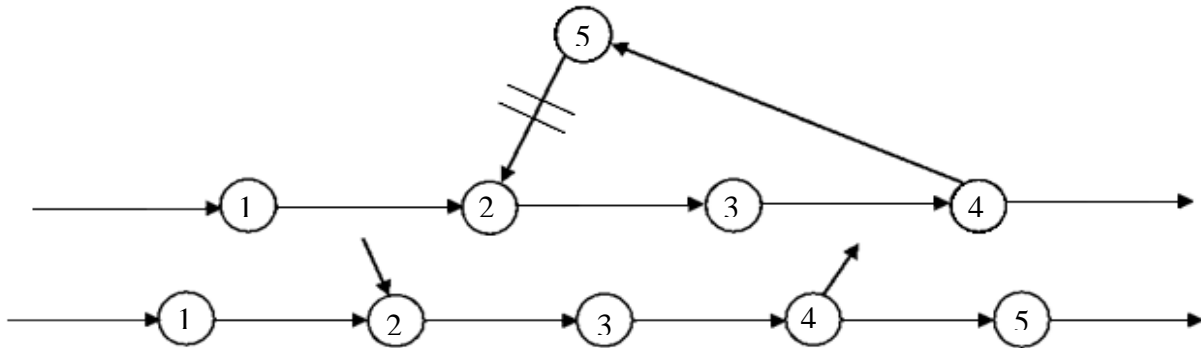


Рисунок 3.11 – Розрив зворотнього зв'язку

Загальні операції побудови ГІЕЗ:

об'єднання виходів багатовихідних елементів;

розрив зворотніх зв'язків;

розрив транзитивних зв'язків;

розрахунок індексів попередження елементів.

Коротке замикання чи перевантаження поверх норми елемента апаратури, що споживає енергію, приводить до спрацьовування схеми захисту, розташованої між елементом і джерелом енергії. У цьому випадку одержання інформації про місце короткого замикання (перевантаження) варто проводити в напрямку, протилежному напрямку енергетичних зв'язків при нормальному функціонуванні. Умовно напрямки одержання інформації при обривах і коротких замиканнях показані на рис. 3.12. В процесі перевірки всі наступні елементи, що можуть бути джерелами короткого замикання (перевантаження), від'єднуються від того, що перевіряється.

Для побудови графа інформаційно-енергетичних зв'язків використовується функціональна (принципальна) схема апаратури, елементами якої повинні бути пристрої, з точністю до яких визначається джерело відмови. При цьому, якщо до складу таких пристроїв входять прості електровироби, що легко знімаються, то вони виділяються як самостійні вхідні елементи і зображуються вершинами, зв'язаними дугами з вершинами відповідних пристроїв.

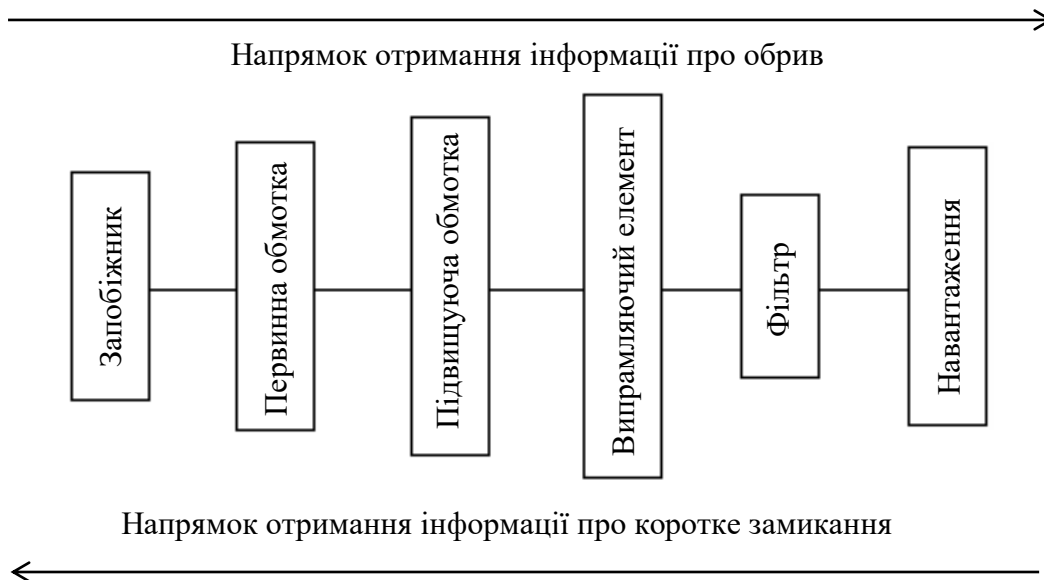


Рисунок 3.12 – Напрямки отримання інформації

Дуги, що відбивають собою зв'язки, які виходять з елемента і входять у нього без проходження через інші елементи, з графа виключаються.

Спочатку будується ГІЕЗ, у якому елементи враховуються як джерела обривів. Потім виявляються всі елементи, що можуть бути джерелами перевантажень, і елементи захисту від них. ГІЕЗ по обривах доповнюється елементами і дугами, що враховують втрату працездатності апаратури через короткі замикання (перевантаження).

При побудові ГІЕЗ загальними елементами для з'єднання графів по обривах і перевантаженням служать елементи захисту. При цьому граф по перевантаженням завжди передує графу по обривах. Порядок з'єднання графів по обривах і перевантаженням ілюструється на рис. 3.13.

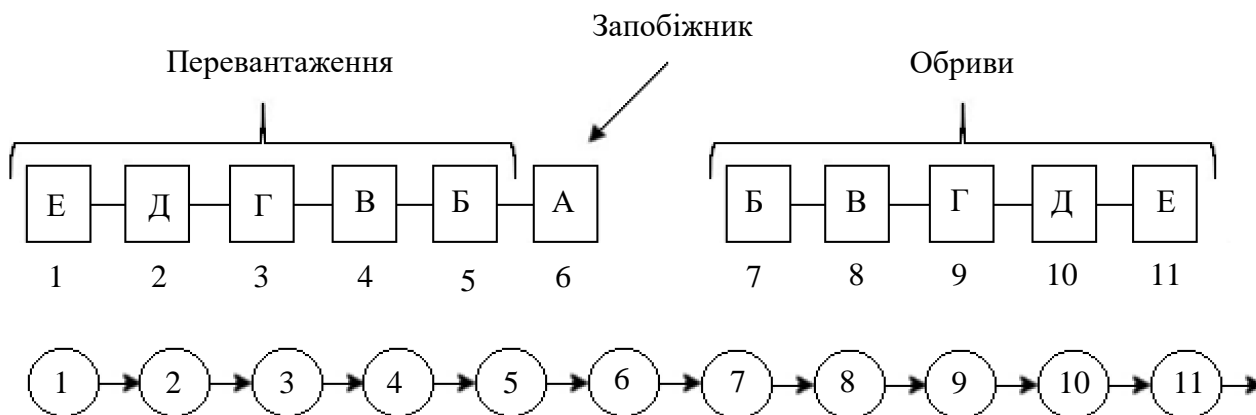


Рисунок 3.13 – Порядок з'єднання графів

Коли побудовано простір станів одновихідного ОД і визначені необхідні стимуляції дії, точки зняття (вимірювання) діагностичних параметрів і характеристик цих параметрів, становиться можливим, побудувати ДЛМ.

Теоретично-інформаційні характеристики процесу пошуку

Побудова дерева логічних можливостей. ДЛМ представляє із себе направлений граф, що складається з однієї кореневої вершини, $L-1$ проміжних і L -кінцевих вершин. Від кожної вершини ДЛМ виходить 2 дуги, під якими мається на увазі результати випробування елемент

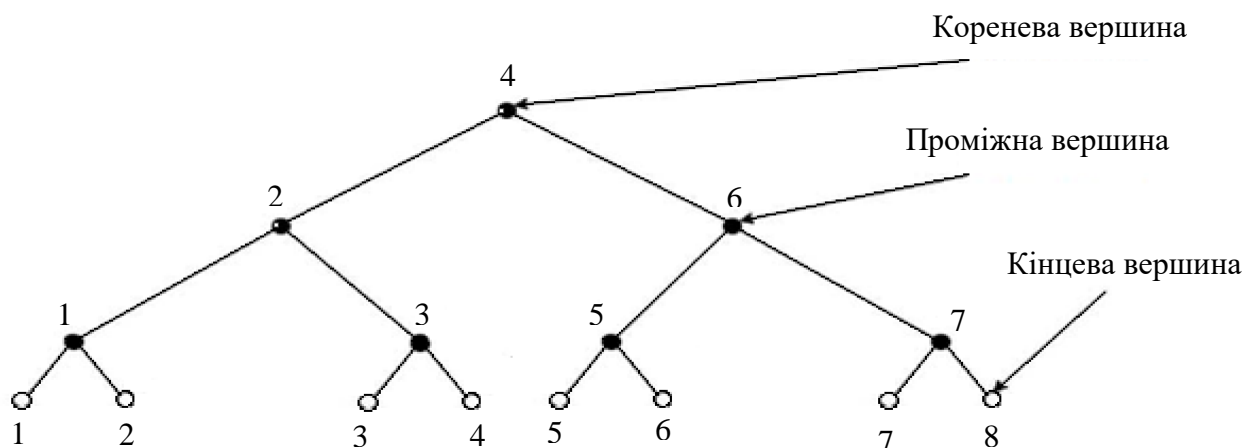


Рисунок 3.14 – Дерево логічних можливостей

Для одержання мінімізованої за часом програми діагностування при побудові ДЛМ необхідно вибирати точки перевірки в такій послідовності, щоб завжди дотримувалася умова

$$\min \left| \sum_{i \leq j} U_i - \sum_{i > j} U_i \right|,$$

тобто сумарна імовірність переважного вибору у точці першої перевірки повинна бути, як можна ближче до 0,5.

Імовірністю переважного вибору для елемента ГІЕЗ називається імовірність того, що з урахуванням інтенсивності відмов і трудомісткості перевірки даний елемент буде обраний у якості того, якого перевіряють, при умові, що наступила відмова апаратури.

Під перевіркою елемента апаратури розуміються операції, що дозволяють одержати бінарну (“у нормі” – “не в нормі”) оцінку його працездатності.

Точка першої перевірки розбиває ГІЕЗ на два підграфу, в одному з яких зосереджені всі елементи, які знаходяться попереду тих, що перевіряються.

Для вибору наступних точок перевірки кожен підграф розглядається як самостійний і розбивається по тим же правилам, що і вихідний ГІЕЗ.

При виборі точок перевірки можуть зустрітися ситуації, коли точка i , що відповідає точній рівності сумарної імовірності переважного вибору, має велику трудомісткість випробування, але поруч (10–15% відхилення індексу попередування від 1) є точки з малими трудомісткостями. У цьому випадку для перевірки вибирається будь-яка точка, трудомісткість якої мінімальна.

Побудова ДЛМ припиняється, коли точки розбивки виділяють з чергових підграфів елементи, що відповідають встановленій глибині діагностування.

Дерево логічних можливостей утворюється шляхом з'єднання точок розбивки попереднього кроку лініями з указівкою напрямку руху при різних результатах перевірки. Кінцеві вершини ДЛМ відповідають несправним елементам. ДЛМ, побудоване за даною методикою, забезпечує одержання програми діагностування, близької до оптимальної по витратах часу на пошук несправностей.

Дерева логічних можливостей показані на див. рис. 3.7, що відображають алгоритми діагностування різних видів.

ДЛМ можуть бути мінімальної, максимальної і проміжної форм.

ДЛМ можна оцінити кількісно по: середньому часі діагностування і середній кількості кроків пошуку(випробування).

Середня кількість кроків пошуку розраховується по наступній формулі

$$K_{\text{сеп}} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L K_i,$$

де K_i – число випробувань, необхідних для локалізації i -го елемента, L – загальне число елементів графа (чи елементів схеми, що підлягають діагностуванню).

Середня тривалість пошуку по дереву має вид:

$$T_{\text{д сеп}} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_{\text{д}i},$$

де $t_{\text{д}i}$ – час, необхідний для локалізації i -го елемента.

Розглянемо приклад побудови умовного алгоритму діагностування (рис. 3.15). Аналіз об'єкту: багатовихідні елементи: 3, 6; транзитивні зв'язки: 6–3, 6–4; зворотні зв'язки: 1, 2, 3, 5.

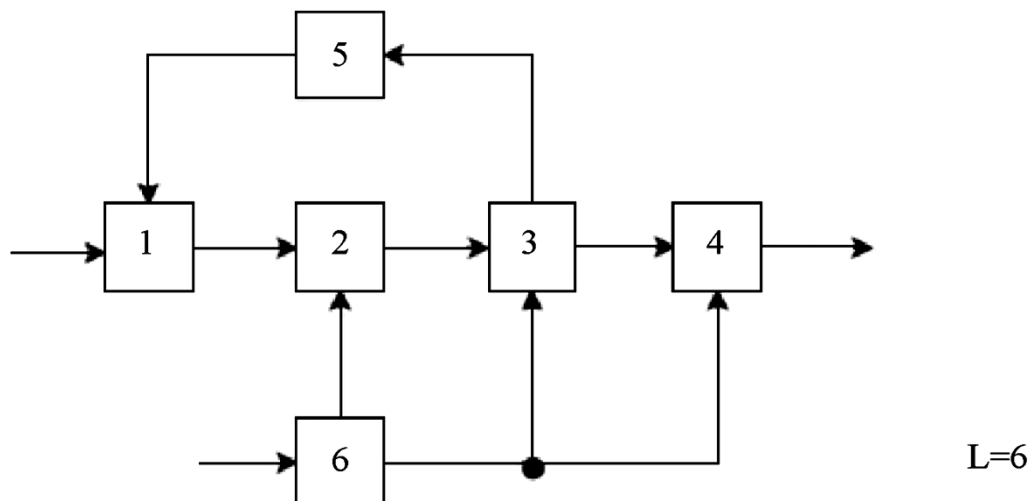
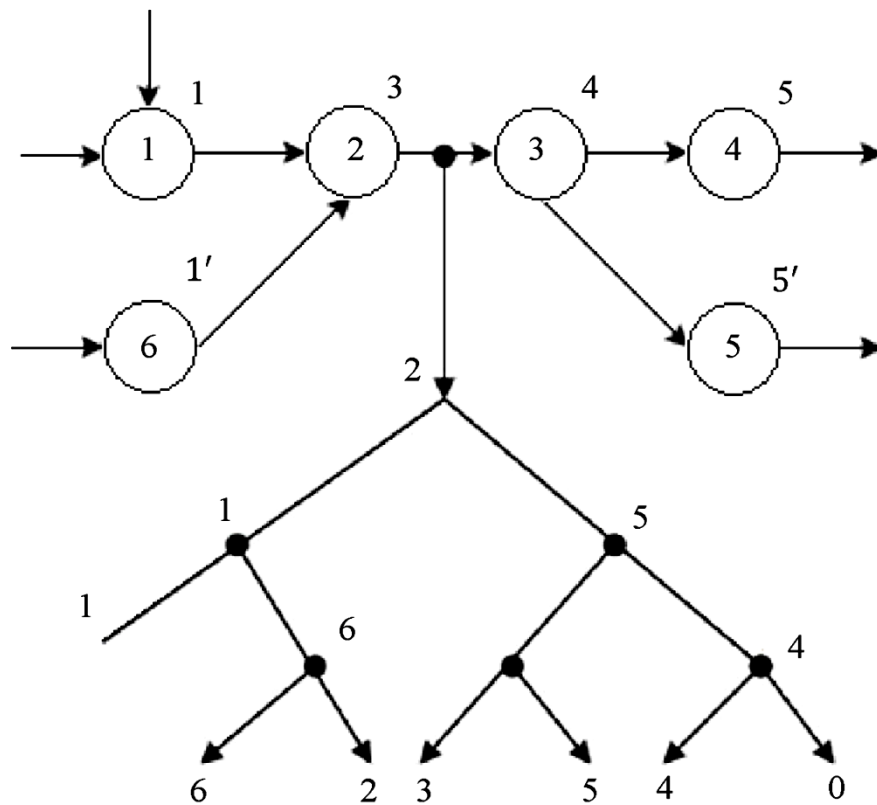


Рисунок 3.15(a) – Побудова умовного алгоритму діагностування



$$K = \frac{2 \times 1 + 3 \times 6}{6 + 1} = \frac{20}{7} = 2,85$$

Рисунок 3.15(б) – Побудова умовного алгоритму діагностування

3.8. Розробка діагностичних програм засобів спеціального зв'язку

Діагностування являється процедурою перевірки працездатності і пошуку несправностей в будь-яких технічних об'єктах. Воно є звичайною справою персоналу, який безпосередньо обслуговує засоби зв'язку, енергозабезпечення і транспортну базу об'єктів зв'язку.

Більшість фахівців набувають навички діагностування самостійно на підставі досвіду і спостережень за діями інших осіб і досягають в цій справі позитивних результатів. Але по мірі росту безвідмовності апаратури відмови в ній з'являються рідко і досвід пошуку їх причини набувається повільно.

З іншої сторони, проходить швидко зростання кількості деталей і взаємозв'язків між ними в нових зразках техніки, що перешкоджає швидкому освоєнню і тривалому утриманню в пам'яті схем апаратури і способів перевірки складових частин.

Ці явища приводять до необхідності створення ДЗ для ЗСЗ, яке було б доступним для персоналу будь-якої кваліфікації і передавалось знову прибулому особовому складу при неминучих замінах обслуговуючого персоналу.

Порівняльне значення різних діагностичних моделей і алгоритмів діагностування показує, що найбільш доступним для персоналу, що обслуговує

техніку зв'язку являється ДЗ в формі діагностичних програм. Ці програми представляють собою розгалужені інструкції по пошуку несправностей, які мають деяку ступінь мінімізації в часі виконання і кількості перевірок.

Розробка умовних діагностичних програм вимагає достатньо добрих знань схем апаратури, її параметрів та видів можливих відмов. Використання цих програм не вимагає великих знань, але в більшості випадків приводить до успішного пошуку несправностей і отриманню стійких навиків.

До основних операцій загальної методики побудови діагностичної програми на апаратуру зв'язку відносяться:

1. Збір та аналіз вихідних даних, необхідних для розробки діагностичної програми.

2. Задання рівня ділення ОД на елементи з урахуванням видів відмов та ділянок схеми, які легко замінюються.

3. Перетворення функціональної (принципової) схеми об'єкта діагностування у форму графа ГПЗ.

4. Вибір діагностичних параметрів, що характеризують працездатність елементів ОД, визначення можливості вбудованої системи контролю і індикації, координат підключення стимуляторів впливу і зовнішніх засобів діагностування, положення органів управління та експлуатаційних регуляторів.

5. Визначення трудомісткості перевірок елементів та інтенсивності їх відмов.

6. Побудова структурної моделі пошукової діяльності ремонтника у вигляді ДЛМ.

7. Розрахунок показників якості ДЛМ.

8. Розробка діагностичної програми за допомогою введення в розгалуження ДЛМ інструктивних вказівок: про характер перевірок, задіяних засобах діагностування, способах оцінки результатів перевірки, імовірних дефектах та рекомендацій по їх усуненню.

9. Експериментальна перевірка і доробка діагностичної програми.

Побудова програми діагностування засобу зв'язку проводиться на підставі дослідження логіки взаємодії його елементів на вибраному або заданому рівні ділення. При цьому повинні бути використані всі доступні описи і інструкція, що супроводжують засіб зв'язку, заводська і експлуатаційна документація, а також матеріальна частина засобу зв'язку, що досліджується в робочому стані.

До найбільш важливих відомостей, які повинні бути одержані на початковому етапі діагностування відносяться часові показники ($T_{\text{вд}}$, t , t_y):

1. Вивчення складу та можливостей вбудованої системи контролю та індикації (ВСК і І).

До вбудованих засобів контролю та індикацій відносяться:

лампочки індикації подачі напруги, рівнів і т.п.;

індикаторний прилад на лицьовій панелі блоків апаратури, який дозволяє проконтролювати наявність відповідної напруги, рівня передачі і прийому та інше;

контрольні гнізда комутаційних колодок, які дозволяють перевірити наявність сигналу на входах (виходах) відповідних функціональних вузлів.

2. Визначення ознак працездатності функціональних вузлів і елементів на заданому рівні пошуку.

3. Вивчення конструкції апаратури і визначення можливостей доступу до функціональних вузлів і елементів з метою перевірки їхнього стану і при необхідності заміни.

4. Визначення номенклатури штатних та додаткових ЗВТ, необхідних для перевірки працездатності функціональних вузлів апаратури, а також для визначення причин відмов.

5. Вивчення елементів, що легко знімаються.

6. Вивчення складу ЗПП.

7. Вибір параметрів, що контролюються (напруга, струм, рівень сигналу на виходах функціонального вузла, форма сигналу і опір ділянки ланцюга).

8. Визначення трудомісткості випробувань функціональних вузлів (елементів) на заданому рівні пошуку.

9. Визначення імовірності виходу із ладу елементів об'єкту діагностування.

10. Визначення наявності схем захисту від перевантажень, перегріву, переповнення і логіки їх дії та видів відмов.

11. Визначення рівня та глибини пошуку (в якості кінцевих об'єктів пошуку вибираються функціональні вузли; елементи апаратури, що легко знімаються) з урахуванням $T_{\text{вд}}$.

Розробка діагностичної програми засобами спеціального зв'язку

Для перетворення дерева логічних можливостей в програму діагностування необхідно для кожної точки розгалуження дати короткі інструктивні вказівки про місцезнаходження точки перевірки в апаратурі, про засоби діагностування і способи їх використання, про допустимі значення величин, що перевіряються, чи про ознаки порушення працездатності.

У кінцеві вершини ДЛМ вводяться відомості про характер і джерело несправності. Тут же при необхідності дають вказівки про спосіб усунення несправності.

При наявності декількох несправностей перше застосування програми приводить до локалізації ТЕЗ, який відмовив, найбільш близького до входів апаратури. Після відновлення виявленого несправного елемента діагностування по програмі повторюється доти, поки працездатність апаратури не буде відновлена.

Розглянемо порядок побудови програми діагностування на прикладі радіоприймача, функціональна схема якого приведена на рис. 3.16. Її функціонально-логічна модель (рис. 3.17) перетворюється в ГІЕЗ (рис. 3.18) з розрахунком індексів елементів.

Побудова ДЛМ (рис. 3.19) виконується методом половинного розподілу. В такому разі: $K_{min} = 4$; $K_{max} = 5$;

$$K_{сер} = \frac{13 \times 4 + 6 \times 5}{19} = 4,31.$$

Фрагмент програми діагностування радіоприймача приведено на рис. 3.20.

Загальний порядок побудови програм діагностування техніки зв'язку приведено на рис. 3.21.

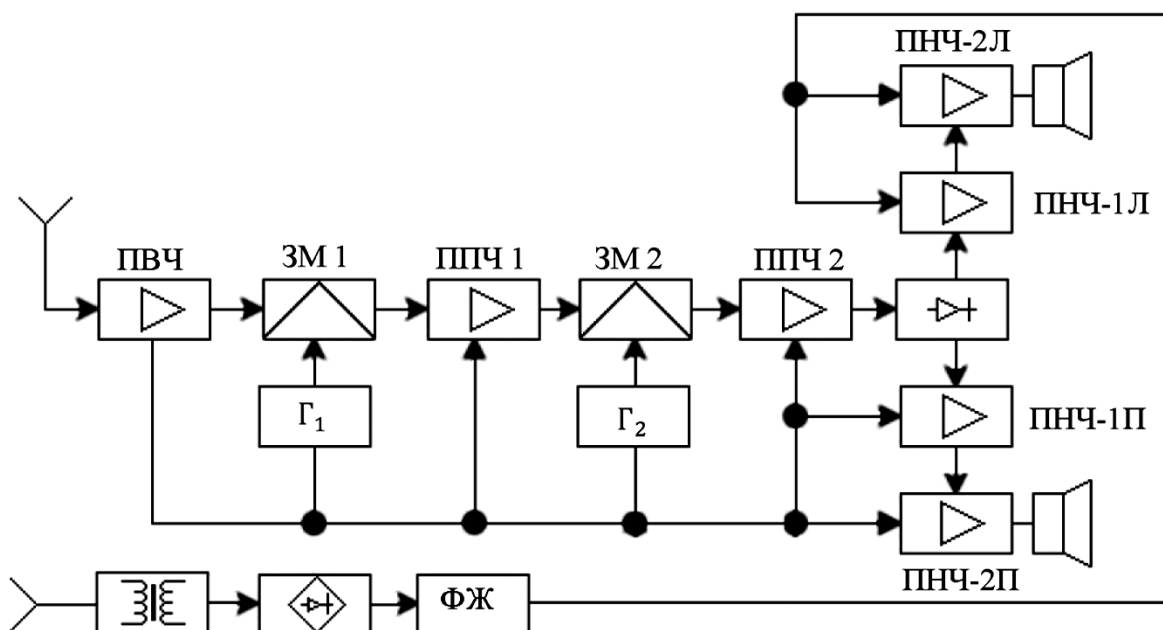


Рисунок 3.16 – Функціональна модель радіоприймача

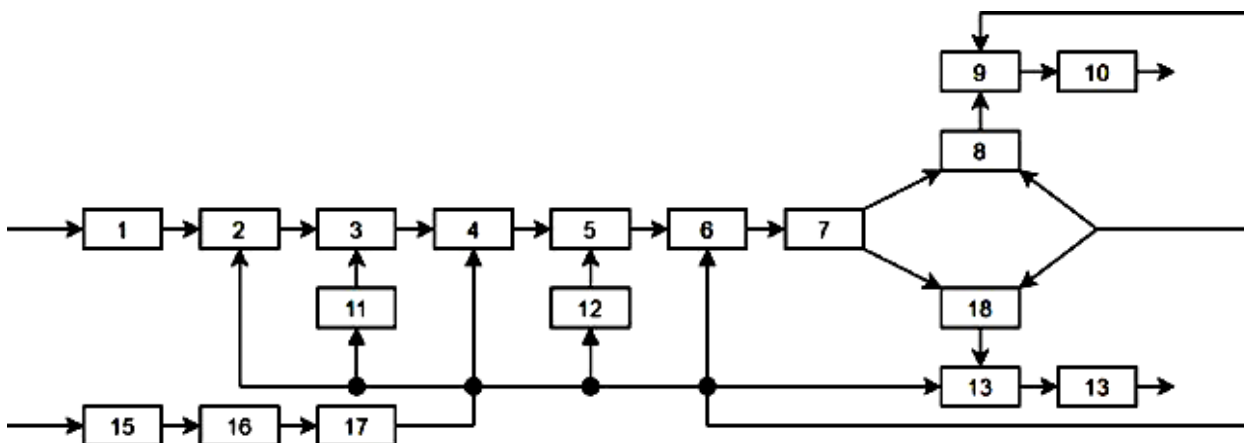


Рисунок 3.17 – Функціональна модель об'єкта

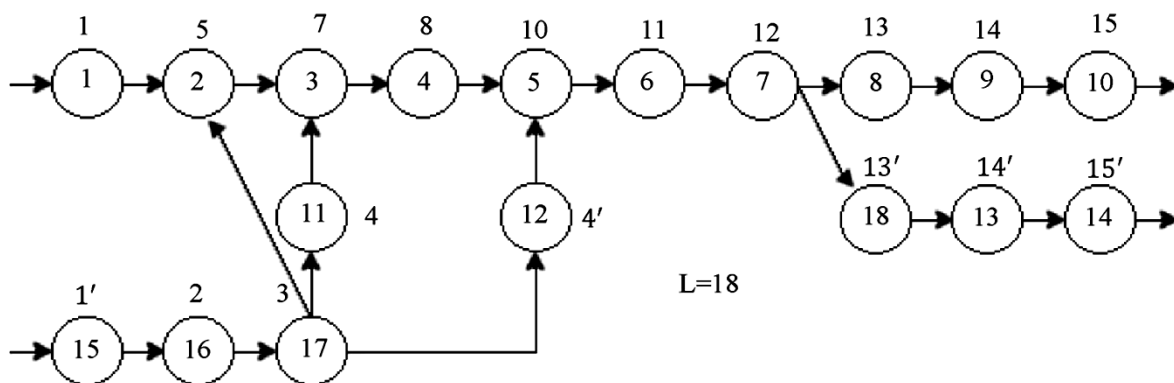


Рисунок 3.18 – Граф інформаційно-енергетичних зв'язків

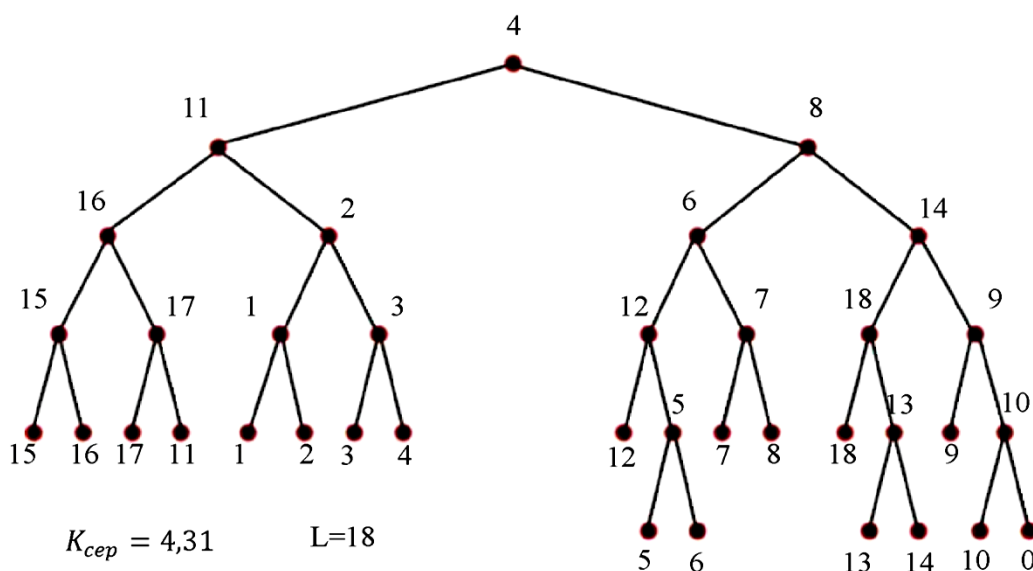


Рисунок 3.19 – Умовний алгоритм діагностування

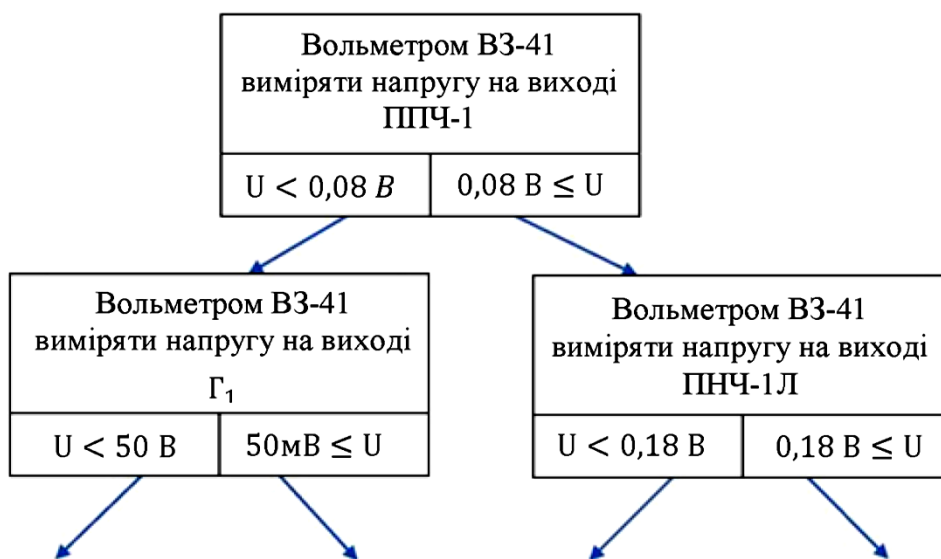


Рисунок 3.20 – Фрагмент програми діагностування

Для складної апаратури ДЛМ може бути перетворено в декілька підпрограм, при цьому кожна наступна підпрограма продовжує одну з вершин попередньої підпрограми. Розбивка ДЛМ на підпрограми залежить від

структури апаратури, глибини діагностування і проводиться з урахуванням зручності користування діагностичною документацією.

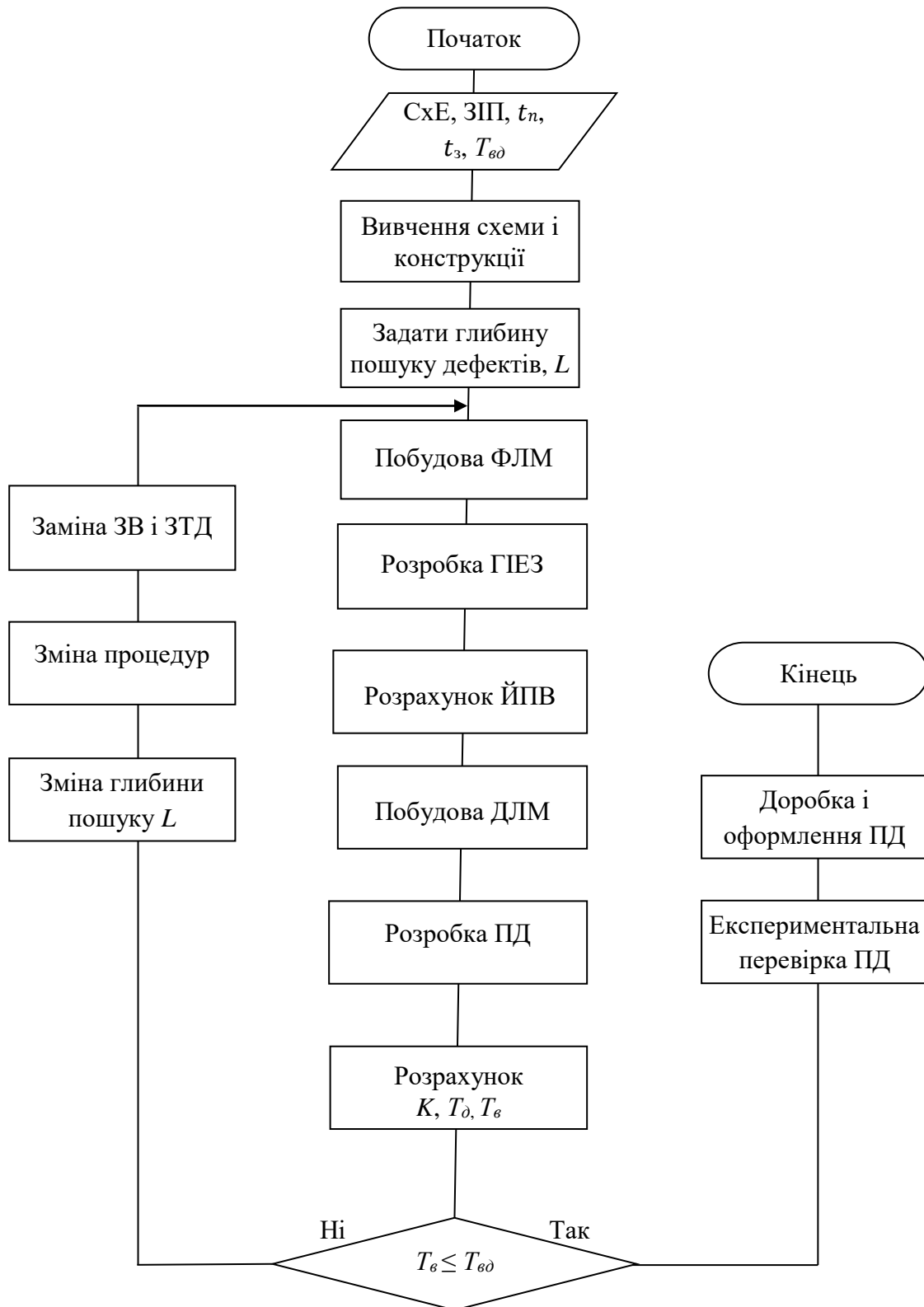


Рисунок 3.21 – Порядок побудови програми діагностування

3.9. Моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами

В підрозділі на основі використання результатів сучасних досліджень в галузі технічної діагностики і метрології запропоновано математичну модель кількісної оцінки середнього часу відновлення засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами, яка враховує етапи дефектації й пошуку дефектів екіпажами апаратних зв'язку або апаратних технічного забезпечення.

Засоби спеціального зв'язку внаслідок аварійних пошкоджень, порушення правил експлуатації, довгострокового зберігання в несприятливих кліматичних умовах, а також під час бойових дій отримують кратні дефекти. У цих випадках відновлення ЗСЗ екіпажами апаратних зв'язку або апаратних технічного забезпечення в польових умовах суттєво відрізняються від ПР: першочергово на місце пошкодження в результаті попередньої дефектації встановлюється ступінь пошкодження і місце ремонту, потім в ремонтному органі під час повної дефектації фахівці усувають явні дефекти. Подалі пошук скритих дефектів виконують з використанням ефективних процедур, що дозволяє скоротити час відновлення. Тому проблема моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами є досить актуальною для забезпечення необхідної укомплектованості системи урядового зв'язку як в мирний, так і військовий час за рахунок підвищення ефективності ремонтних органів.

Аналіз сучасних публікацій показує відсутність математичної моделі, яка охоплює усі етапи відновлення ЗСЗ з кратними дефектами одночасно. Запропоновано ремонт агрегатним методом зі зниженням показників якості ЗСЗ для скорочення часу відновлення. Етапи дефектації і пошук кратних дефектів розглянуто окремо, як і вплив МЗ на якість діагностування. Але комплексний підхід до відновлення ЗСЗ з кратними дефектами як єдиного процесу відсутній.

В підрозділі розглянуто порядок отримання математичної моделі процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами для раціонального розподілу працевтрат між етапами дефектації і діагностування, що дозволяє скоротити середній час відновлення працездатності в польових умовах.

Відомо два підходи до моделювання часу повної дефектації: збільшення часу пошуку явних дефектів та усунення спричинених ними несправностей по закону геометричної прогресії або експоненціальному закону.

В першому випадку після початку дефектації визначається час виявлення першого дефекту (t_1) та дефекту $n < 10(t_n)$, тоді коефіцієнт геометричної прогресії $g = \sqrt[n]{t_n} / t_1$ та розрахунковий час виявлення та усунення Q_0 дефектів дорівнює

$$T'_1 = \frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{g - 1} + t_y Q_0, \quad (1)$$

де t_y – час усунення однієї несправності.

У другому випадку після початку дефектації визначається час, затрачений на пошук та усунення дефектів $i(t_i)$ та $j(t_j)$, а також загальний час з початку дефектації на їх пошук та усунення (T_i, T_j) , при цьому $i < j$. Потім вираховуються числові значення коефіцієнтів

$$a = \frac{\ln \frac{t_i}{t_j}}{T_j - T_i}; b = \exp(\ln t_i + aT_i)$$

та прогнозується час дефектації для заданого максимального значення часу пошуку чергового дефекту t_m

$$T_1'' = \frac{1}{a} \ln(bt_m).$$

На другому етапі відновлення об'єкту з кратними дефектами в процесі діагностування здійснюється пошук та усуненням скритих дефектів Q_c .

Об'єкт поділяється на G груп в припущенні, що $Q_c \leq G$. Тоді при діагностуванні одним фахівцем ($\mu = 1$) та використанні усіченої процедури пошуку (УПП) середній час реалізації другого етапу відновлення становить

$$T_2' = \frac{G(t(2 + \log_2 l) + t_y)}{p^{2 + \log_2 l}}, \quad (2)$$

де t – середній час виконання перевірки;

$l = L/Q_c$ – число елементів у групі;

p – ймовірність вірної оцінки результату виконання перевірки;

L – загальне число елементів у об'єкті.

Математичне сподівання відхилення діагнозу при одній помилці в оцінці результату виконання перевірки

$$\rho = 0,5(l + \log_2 l - 1)(1 - p)p^{\log_2 l - 1}.$$

При відновленні об'єкту великої розмірності з рознесеними у просторі елементами доцільно використовувати спільний груповий пошук дефектів $\mu > 1$.

У цьому випадку об'єкт краще поділяти на $G_0 = \frac{\mu Q_c}{(1 - Q_c/L)\ln(\mu + 1)}$ груп елементів.

Сумарне число перевірок для пошуку всіх Q_c дефектів становить

$$K_{\Sigma} = \frac{(G - Q_c)(G + (\mu + 1)Q_c)}{2\mu G Q_c} + (Q_c - 1) \left[1 + \frac{G(L - Q_c)}{\mu L Q_c} \right] + Q_c \log_{\mu+1} \frac{L}{G}, \quad (3)$$

а середній час реалізації другого етапу відновлення

$$T_2 = \frac{tK_{\Sigma} + t_y Q_c / \mu}{p^{\mu(1 + \log_{\mu+1} L/G)}}. \quad (4)$$

Математичну модель розподілу часу процесу відновлення ЗСЗ слабкого ступеня пошкодження приведено в табл. 3.3, де значення K_{Σ} визначають згідно виразу (3).

Таблиця 3.3

Розподіл часу відновлення засобів спеціального зв'язку слабкого ступеня пошкодження залежно від кількості фахівців

Етап відновлення	Кількість фахівців	
	$\mu=1$	$\mu>1$
Усунення явних дефектів, t_0 , хв.	$0,09Lt_y$	$0,09Lt_y / \mu$
Повна defeкація, t_1 , хв.	$\frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{g - 1} + t_y Q_0$	$\frac{t_1(g^{Q_0} - 1)}{\mu(g - 1)} + \frac{t_y Q_0 (g - 1)}{\mu(g - 1)}$
Діагностування, t_2 , хв.	$\frac{G(t(2 + \log_2 l) + t_y)}{p^{2 + \log_2 l}}$	$\frac{tK_{\Sigma} + t_y Q_0 / \mu}{p^{\mu(1 + \log_{\mu+1} l)}}$
Загальний час відновлення, t_{θ} , год.	$\frac{T_0 + T_1 + T_2}{60}$	

Приведені математичні співвідношення не враховують організаційні витрати часу.

Загальний час ремонту об'єкту $T_B = T_1 / \mu + T_2$ та залежить від якості defeкації. При цьому представляє практичний інтерес знаходження числа defeктів Q_c при якому T_B мінімальний: при збільшені Q_c значення T_1 збільшується, а T_2 – зменшується. Традиційний метод знаходження екстремуму функції

$$\frac{dT_B(Q_0)}{dQ_0} = 0$$

приводить до отримання трансцендентного рівняння, розв'язати яке в явному вигляді не представляє можливості:

$$\left[\frac{2(\ln(SL - Q_0) + 1)}{\ln 2} - n \right] \frac{1}{\mu} + ag^{Q_0} \ln g = \frac{\ln p \left[t_y Q_0 - \frac{nQ_0 - m + 2(SL - Q_0) \ln(SL - Q_0) / l_n 2}{r} + a(g^{Q_0} - 1) \right]}{(SL - Q_0) l_n 2},$$

де $a = t_1 / (g - 1)$; $r = p^K$; $K = 2 + \log_2 L$; $n = 2(t + \log_2 L) + t_y$; $m = SLn$.

Тому для конкретного набору вихідних даних будується залежність $T_B(Q_0)$ та обґрунтовується раціональна тривалість дефектації, яка мінімізує загальний час відновлення об'єкта для ступеня пошкодження S , визначеної в процесі попередньої дефектації.

Наприклад, при одиночному пошуку дефектів при $\mu = 1$; $L = 100$; $S = 0,3$; $g = 1,1$; $t_1 = 2$ хв; $t_y = 3$ хв; $t = 2$ хв; $p = 0,995$ отримуємо залежності $T_1'(Q_0)$, $T_2'(Q_0)$ та $T_B(Q_0)$, приведені на рис. 3.22 При цьому загальний час відновлення мінімальний, якщо $Q_0 = 11 \div 15$.

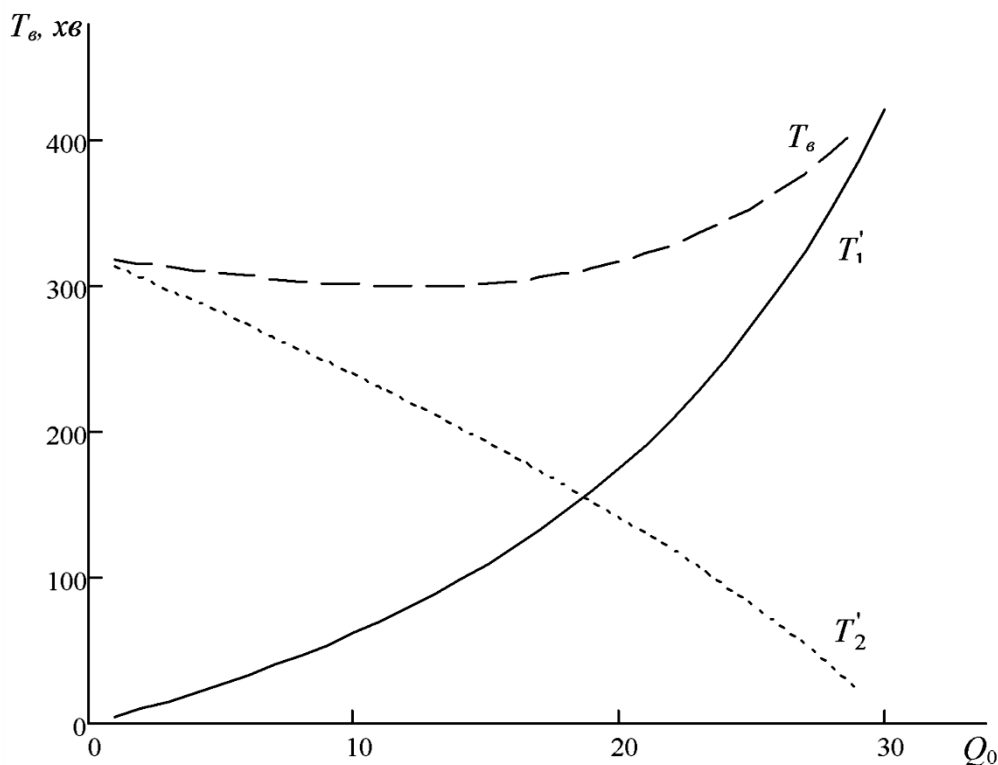


Рисунок 3.22 – Залежність часу дефектації, діагностування та відновлення об'єкта при одиночному пошуку дефектів.

При тих же вихідних даних спільний груповий пошук дефектів ($\mu = 2$) приводить до результату $Q_0 = 14 \div 15$ та скорочує час відновлення в 1,8 раз (рис. 3.23).

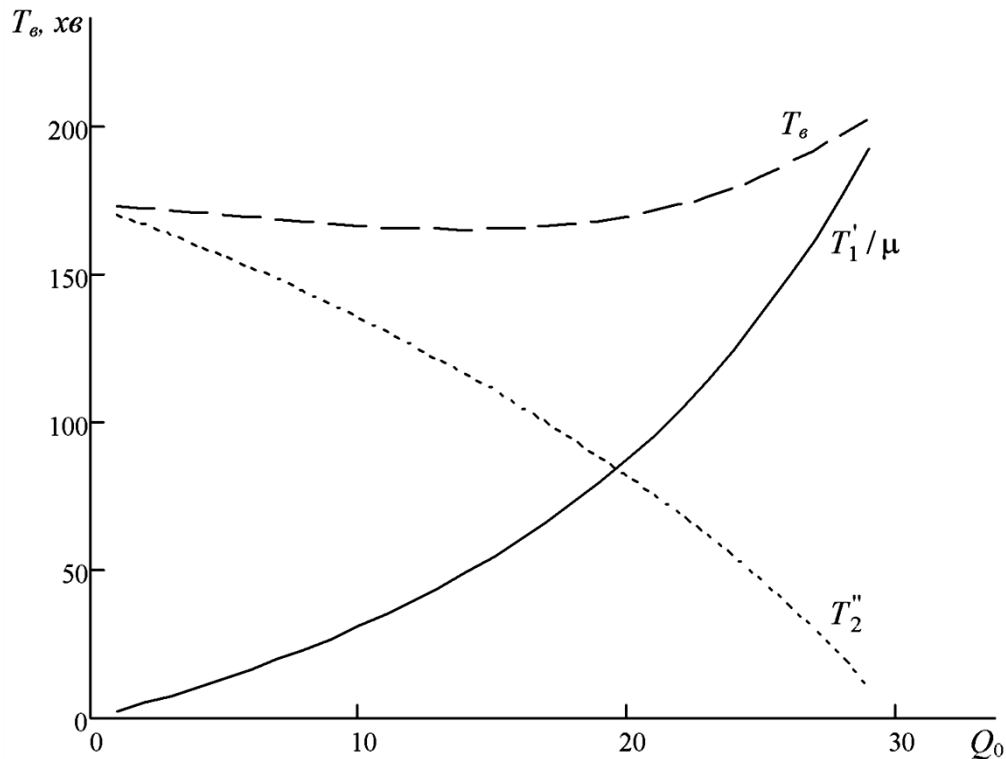


Рисунок 3.23 – Залежність часу дефектації, діагностування та відновлення об'єкта при груповому спільному пошуку дефектів

В обох випадках після знаходження та усунення $Q_0 = 14$ дефектів доцільно припиняти дефектацію та переходити до пошуку дефектів, які залишились, в процесі діагностування.

Таким чином, цільова функція процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами приймає вигляд

$$T_B(L, S, \mu, t_1, t_y, g, p) = \min_{Q_0 \leq SL} (T_1(Q_0) + T_2(Q_0)).$$

Блок-схема алгоритму знаходження раціональної кількості дефектів, що необхідно усунути під час дефектації, приведено на рис. 3.24, а загальна структура запропонованої математичної моделі процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами – на рис. 3.25.

Розглянемо використання отриманих результатів в порівнянні з прикладом для відновлення працездатності апаратури каналотворення П-330-6 зі слабким ступенем пошкодження бригадою із 4-х фахівців. При наявності долі явних дефектів 90% від загальної кількості на їх усунення необхідний час $0,9SLt_y / 60\mu$ годин. Апаратура має $L = 2995$ елементів в 23 блоках та 95 елементів в базовій конструкції. Запропоновано використовувати зонний пошук кратних дефектів, при цьому середній час відновлення складає $T_e = 9,36$ годин з яких час дефектації дорівнює $T_1 = 3$ години.

Використання запропонованого в роботі алгоритму рис. 3.24 для сумісного пошуку кратних дефектів при тих же вихідних даних $t_1 = 5$ хв.,

$t = 1$ хв., $t_y = 2$ хв. приведе до результату, коли середній час відновлення мінімальний при визначенні в процесі дефектації $Q_0 = 10$ дефектів за $T_1 = 2,8$ години і складає $T_e = 4,5$ години (рис. 3.26), що в 2,08 рази менше, чим у прототипі.

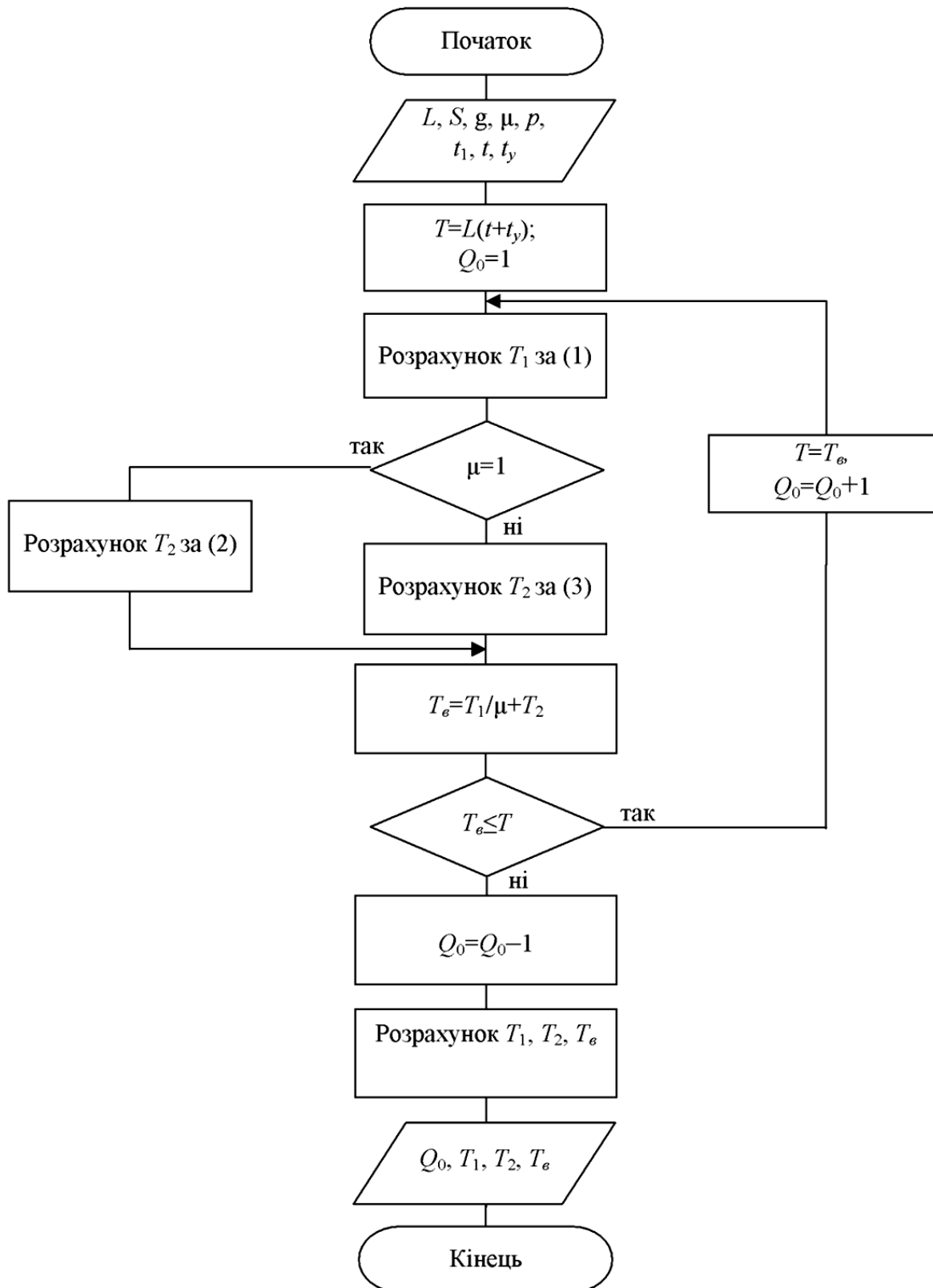


Рисунок 3.24 – Блок-схема алгоритму знаходження раціональної кількості дефектів, що необхідно усунути під час дефектації



Рисунок 3.25 – Структура математичної моделі процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами

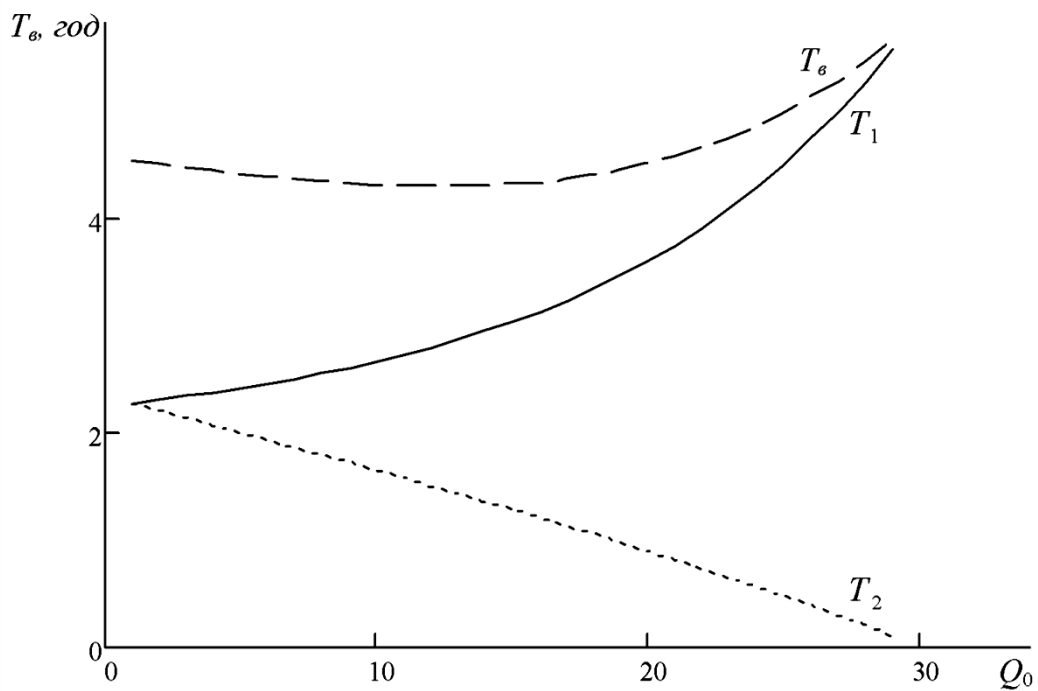


Рисунок 3.26 – Розподіл часу при відновленні апаратури П-330-6 зі слабким ступенем пошкодження

Тобто, обґрунтований вибір діагностичних процедур і вірне завдання гранично допустимого часу дефектації суттєво скорочує час відновлення ЗСЗ і

підвищує ефективність роботи ремонтних органів за рахунок збільшення їх пропускнуєї спроможності.

Ефект від використання моделі полягає в мінімізації середнього часу відновлення ЗСЗ з пошкодженнями слабкого ступеня за рахунок раціонального розподілу працевитрат між етапами дефектації та діагностування.

Наукова новизна запропонованої моделі полягає в тому, що вперше враховано вплив якості метрологічного забезпечення на час пошуку кратних дефектів і уточнені функціональні залежності часу дефектації і діагностування ЗСЗ з кратними дефектами.

Достовірність отриманого результату забезпечується:

коректним використанням вихідних даних;

обґрунтованим вибором припущень та обмежень;

врахуванням особливостей етапів відновлення ЗСЗ з кратними дефектами.

Достовірність підтверджується збігом отриманих результатів з відомими і тим, що вони мають зрозуміле фізичне трактування.

У результаті аналізу сучасних публікацій в галузі технічної діагностики встановлено напрямок досліджень і сформульована цільова функція процесу ремонту ЗСЗ з кратними дефектами.

Запропоновано блок-схему алгоритму реалізації математичної моделі і її структура, що дозволяє мінімізувати середній час відновлення ЗСЗ з кратними дефектами за рахунок перерозподілу зусиль на етапах дефектації і діагностування.

Отриману математичну модель в подальшому доцільно використовувати при плануванні роботи ремонтних органів в умовах ведення бойових дій.

3.10. Комплексна оцінка ефективності системи спеціального зв'язку

Оцінка ефективності системи зв'язку – багатокритеріальна задача визначення реального стану різноманітних складових якості її функціонування. Запропоновано формалізацію комплексної оцінки ефективності з урахуванням впливу на її значення окремих показників якості. Приведено приклади кількісної оцінки надійності і бойової готовності систем спеціального зв'язку.

Оцінка бойової готовності частин зв'язку залежить від стану ЗСЗ, її укомплектованості, ДЗ та МЗ, підготовки особового складу щодо її використання за призначенням і відновлення працездатності під час ПР.

В підрозділі розглянуто підхід до кількісної оцінки імовірнісних показників якості процесу визначення окремих складових і комплексної оцінки якості функціонування системи зв'язку в цілому, запропоновано алгоритми розрахунку показників якості і оцінки їх відповідності і вимоги до систем спеціального зв'язку (ССЗ), в чому і полягає наукова новизна роботи.

Отримані результати доцільно використовувати як під час оцінки ефективності існуючих, так і при обґрунтованому виборі варіанту розвитку перспективних систем зв'язку.

Підвищення ефективності функціонування ССЗ Збройних Сил України, Державної системи урядового зв'язку України та інших складових силових структур в сучасних умовах їх розвитку є однією з актуальних науково-практичних проблем.

Особлива увага у вирішенні цієї проблеми приділяється питанням кількісного оцінювання ефективності функціонування зазначених систем, причому не за окремими показниками, а комплексно з врахуванням впливу всіх показників якості на результат використання системи за призначенням.

Основна вимога до ССЗ – висока бойова готовність, оцінюється під час перевірок за відомими методиками. Але при цьому відсутня кількісна оцінка достовірності результатів перевірки, що знижує їх якість. Тому для підвищення об'єктивності результатів контролю бойової готовності частин зв'язку доцільно кількісно оцінити значення їх імовірнісних характеристик – ймовірність правильної оцінки бойової готовності і її можливе відхилення від істинного значення.

Останніми роками проводяться наукові дослідження щодо кількісної оцінки якості дотримання окремих вимог до використання за призначенням ССЗ. Сформульовані принципи побудови сучасних ССЗ та визначені вимоги до них, але відсутні рекомендації щодо кількісної оцінки показників якості. Визначені перспективні напрямки розвитку ССЗ з урахуванням досвіду армії передових країн світу. Приведено рекомендації щодо оцінки технічного стану окремих засобів зв'язку, обладнання і апаратних зв'язку (АЗ) в цілому, а також груп військової техніки зв'язку. Приведено рекомендації щодо оцінки надійності окремих зразків, а також надійності і живучості ССЗ в цілому. Розглянуті питання удосконалення ДЗ, та – МЗ ремонту. Проте попередні дослідження не мали системного характеру, а вирішували часткові завдання. Аналіз робіт, присвячених методам оцінювання ефективності ССЗ показує, що далеко не всі вони знаходять широке практичне застосування, не завжди є оптимальними, не враховують специфіку експлуатації у реальних умовах та не дають можливості кількісно оцінити межі змін результату контролю.

Мета підрозділу: формалізувати процес комплексної оцінки ефективності ССЗ, показати на прикладі дотримання вимог до надійності та бойової готовності можливість упорядкування дій щодо її оцінки з розрахунком імовірнісних показників якості.

Система зв'язку і автоматизації – сукупність взаємопов'язаних, сумісних та узгоджених за завданнями систем військового зв'язку і автоматизації всіх ланок управління, задовольняє вимогам:

висока бойова готовність – здатність системи зв'язку влюбий час та влюбих обставинах виконувати задачі по забезпеченню управління військами;

стійкість – здатність системи військового зв'язку виконувати завдання за призначенням за умов впливу всіх вражаючих факторів, характеризується живучістю, завадостійкістю та надійністю системи зв'язку;

мобільність – здатність системи військового зв'язку в установлені строки розгортатися в установлені терміни, змінювати топологію та можливості відповідно до умов обстановки;

пропускна спроможність – здатність системи військового зв'язку забезпечувати обслуговування потоків інформації за одиницю часу з заданою якістю;

безпека – здатність системи військового зв'язку і автоматизації забезпечувати розвідозахищеність та імітостійкість;

функціональна сумісність – здатність системи військового зв'язку та автоматизації забезпечувати сумісну роботу засобів електрозв'язку і автоматизації з іншими системами без додаткових пристроїв спряження та додаткового програмного забезпечення.

У дійсний час відсутня єдина методика комплексної оцінки задоволення вказаних вимог до ССЗ, що затрудняє можливість оцінити ефективність існуючих та обґрунтувати вибір раціонального варіанту їх подальшого розвитку.

Найбільш доступно кількісно оцінити відповідність ССЗ вимогам щодо надійності, мобільності і пропускної спроможності при наявності встановлених керівними документами критеріїв, але по мірі розвитку систем зв'язку також необхідно їх наукове обґрунтування.

Рішення задачі комплексної оцінки ефективності ССЗ доцільно виконувати в наступній послідовності (рис. 3.27):

в результаті збору та аналізу вихідних даних визначити фактори, що впливають на показники якості ССЗ та установити функціональні залежності значення цих показників від керованих змінних для отримання нормованих значень кількісної оцінки дотримання вимог (P_i);

експертним опитуванням провідних фахівців з організації зв'язку кількісно оцінити вагові коефіцієнти всіх показників якості ССЗ (K_i);

виконати комплексну оцінку ефективності ССЗ у вигляді кількісної оцінки ймовірності її відповідності вимогам $0 < E = \sum_{i=1}^6 K_i P_i \leq 1$, де $0 \leq P_i \leq 1$; $0 < K_i < 1$; $\sum_{i=1}^6 K_i = 1$;

в результаті ранжування за ступенем зменшення значення E визначити найбільш перспективні варіанти розвитку ССЗ.

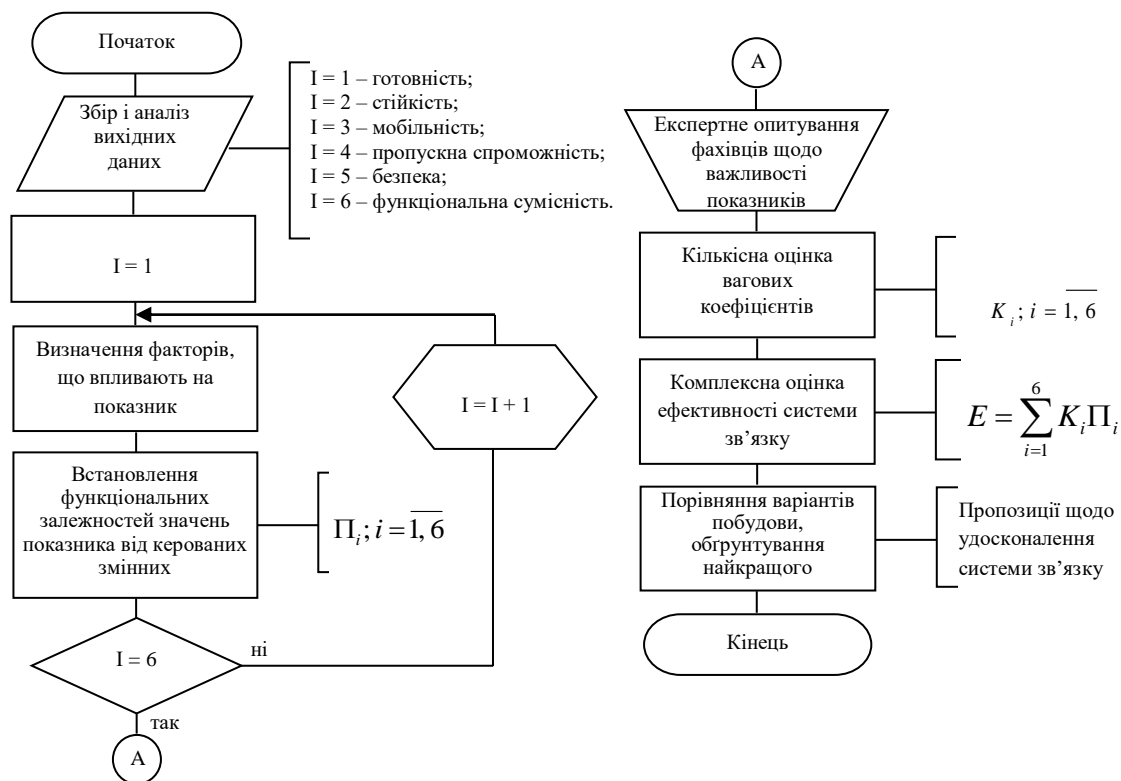


Рисунок 3.27 – Блок-схема алгоритму комплексної оцінки ефективності системи зв'язку

Одним із найважливіших показників якості ССЗ є надійність, без якої їх використання втрачає сенс. Розглянемо можливість формалізованої оцінки цієї вимоги щодо ССЗ.

Властивість надійності ССЗ полягає у спроможності забезпечити зв'язок зі збереженням у часі встановлених вимогами значень експлуатаційних показників, що підтримуються підсистемою технічного забезпечення зв'язку з виконанням усіх видів ремонту, ТО та забезпечення експлуатаційно-витратними матеріалами.

Традиційно, як основний показник надійності ССЗ використовується коефіцієнт готовності A_c , який являє собою імовірність технічної справності усіх засобів і готовності до функціонування в повному обсязі усіх напрямків зв'язку. Однак, для ССЗ більш об'єктивною характеристикою є імовірність технічної готовності системи до обміну інформацією між абонентами хоча б по одному напрямку зв'язку P_c , що у літературі з теорії надійності визначається як імовірність зв'язності чи ймовірність справного стану хоча б одного з можливих напрямків зв'язку:

$$P_c = 1 - \prod_{j=1}^S (1 - A_j),$$

де A_j – коефіцієнт готовності j -го напрямку зв'язку, S – кількість напрямків зв'язку між абонентами в ССЗ.

Цей вираз кількісно оцінює верхню межу мережевої надійності, а значення нижньої межі розраховують за виразом:

$$P_{cn} = \prod_{j=1}^S (1 - U_j) = \prod_{j=1}^S A_j,$$

де $U_j = 1 - A_j$ – коефіцієнт неготовності j -го напрямку зв'язку.

Для спрощення розрахунків використовують наближені методи оцінювання Езарі-Прошана і Поліського, які зводяться до розгляду неповних подій зв'язності та не зв'язності, що визначаються нижніми оцінками [32].

Об'єктивна оцінка якості ССЗ повинна враховувати крім ймовірності зв'язності також значення “ерлангових” втрат p , зумовлених зайнятістю каналів за час t виконання задачі передачі повідомлення. Тоді комплексний показник надійності напрямку зв'язку приймає вигляд:

$$W_j = 1 - \prod_{j=1}^S \left[1 - A_j (1 - p_j) \exp\left(-\frac{t}{T_j}\right) \right],$$

де T_j – напрацювання на відмову засобів, що утворює шлях j .

Вочевидь, що $w_j < P_c$, тому що P_c кількісно оцінює потенційну структурну надійність ССЗ. Звідси випливає, що при комутації каналів доцільно використовувати як критерій вибору шляху показник:

$$V_j = \frac{W_j}{r_j}; j = \overline{1, m};$$

де r_j – кількість переприйомів напрямку зв'язку j із m можливих.

Напрямки зв'язку вибирають в міру зменшення значення цього показника і перевага завжди віддається більш надійним, найменш завантаженим з мінімальною кількістю переприйомів, що дозволяє підвищити ефективність управління топологією ССЗ.

В такому разі в якості нормованого показника надійності ССЗ доцільно використовувати значення P_c , яке отримують за блок-схемою рис. 3.28 після аналізу топології ССЗ, складу її засобів та вимог до мінімального припустимого значення імовірності зв'язності P_{cn} , де n_j – кількість засобів напрямку j . Тобто, нормоване значення стійкості кількісно дорівнює $\Pi_2 = P_c$.

Розглянемо рішення задачі формалізації кількісної оцінки значення основної вимоги до системи зв'язку – бойової готовності, яка залежить від професійної підготовки особового складу, технічного стану і укомплектованості ЗСЗ, технічного, ДЗ та МЗ. Це можливо кількісно оцінити під час контролю технічного забезпечення зв'язку з метою глибокого і

всебічного вивчення стану ВТЗ та організації роботи особового складу по її експлуатації.

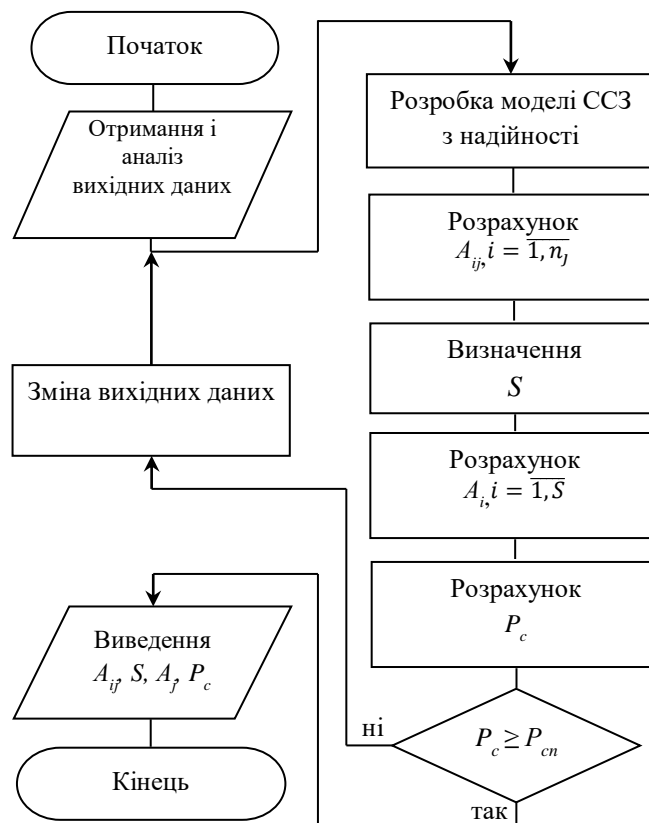


Рисунок 3.28 – Блок-схема алгоритму розрахунку імовірності зв'язності системи зв'язку

Структура методики комплексної оцінки бойової готовності частин зв'язку з врахуванням відомих рекомендацій приведена на рис. 3.29, де відображається необхідність кількісної оцінки ймовірнісних показників якості результату перевірки, T_{np} – час ПР.

Комплексна оцінка бойової готовності ССЗ є багато кроковим процесом: на першому етапі кількісно оцінюють технічний стан окремих зразків ЗСЗ;

потім отримують кількісну оцінку технічного стану апаратних зв'язку, яка враховує фактори, що впливають на якість бойової готовності (п. 9 табл. 3.4);

далі оцінюють ТС і готовність до використання за призначенням групи однотипної техніки вузла зв'язку;

на завершальному етапі отримують комплексну оцінку бойової готовності частини зв'язку залежно від її призначення.

Послідовність дій першого етапу формалізовано у вигляді граф-схеми рис. 3.30, а перелік відповідних операцій приведено в таблиці 3.4, де враховано фактори, що впливають на бойову готовність окремих зразків ЗСЗ.



Рисунок 3.29 – Структура методики комплексної оцінки бойової готовності частини зв'язку

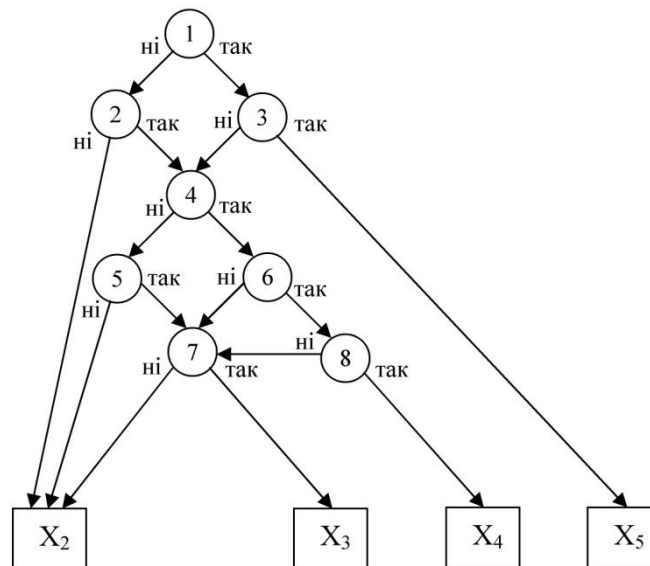


Рисунок 3.30 – Граф-схема алгоритму операцій оцінки технічного стану зразків

Граф-схема представлення процесу оцінки стану ЗСЗ (рис. 3.30) дозволяє з використанням математичного апарату алгебри логіки розглянути можливі варіанти оцінки технічного стану:

$$X = X_5 \vee X_4 \vee X_3 \vee X_2 = \bigvee_{i=2}^5 X_i;$$

$$X_5 = \overline{x_1 x_3 x_9}; X_4 = \overline{x_1 x_3 x_9} \vee \overline{x_1 x_3 x_4 x_6 x_8 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_8 x_9};$$

$$X_3 = \overline{x_1 x_3 x_4 x_6 x_8 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_8 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_7 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_7 x_8 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_5 x_7 x_9};$$

$$X_2 = \overline{x_1 x_2} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_5} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_5 x_7} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_5 x_7 x_9} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_7 x_8} \vee \overline{x_1 x_2 x_4 x_6 x_7 x_8 x_9};$$

де X – технічний стан ЗСЗ;

X_i – оцінка ТС ($i = \overline{2, 5}$);

x_i – позитивна оцінка операції i таблиці 3.4;

$\overline{x_i}$ – негативна оцінка операції i таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Перелік операцій оцінки технічного стану зразків засобів спеціального зв'язку

Умовний номер	Зміст операції
1	Зразок справний, ЗПП-0 укомплектований, документація ведеться правильно, засоби електробезпеки справні
2	Зразок працездатний, укомплектований складовими частинами, готовий до використання
3	Своєчасно і якісно в повному обсязі проведено чергове технічне обслуговування
4	Комплектність ЗПП-0 не менше 50% кожної номенклатури і інструменту не менше 85%
5	Комплектність ЗПП-0 не менше 50% кожної номенклатури і інструменту не менше 75%
6	Значення параметрів доведенні до норм екіпажем за допомогою регулювання в процесі перевірки зразка
7	Виявлені недоліки усунені екіпажем із залученням фахівців ремонтного органу і використанням ЗПП-0 не пізніше 4 годин
8	Виявлені недоліки усунені екіпажем з використанням ЗПП-0 не пізніше 1 години
9	Несправно до 20% абонентських трактів або однотипних виробів, відсутній внутрішньовузловий зв'язок, не повірені засоби вимірювання

Це необхідно для кількісної оцінки показників якості процесу визначення стану ЗСЗ.

Розглянемо можливість кількісної оцінки математичного сподівання (МС) відхилення оцінки технічного стану зразку від дійсного при наявності однієї помилки у визначенні результату виконання операції (табл. 3.4) на прикладі оцінки “добре”. МС дискретної величини дорівнює сумі добутку значення випадкової величини на ймовірність її появи. В такому разі отримуємо:

помилка на першому кроці не впливає на результат;

помилка на другому кроці (операція 2) дає найбільше відхилення оцінки стану ТЗ, яке дорівнює $2(1-p)p$;

помилки на інших кроках приводять до відхилення оцінки стану ЗСЗ на $(1-p)p^5$;

де p – імовірність правильної оцінки результату виконання операції таблиці 3.4.

Аналогічно отримаємо МС відхилення оцінки для всіх можливих випадків за умови, що ймовірності правильної оцінки результатів виконання всіх операцій однакові і дорівнюють p :

$$\begin{aligned} \rho_2 &= 2(1-p)p^2 + 2(1-p)p^5 = 2(1-p)p^2(1+p^3); \\ \rho_3 &= (1-p)p^5 + (1-p)p^5 + (1-p)p^5 + (1-p)p^5 + (1-p)p^5 = 5(1-p)p^5; \\ \rho_4 &= 2(1-p)p + (1-p)p^5 + (1-p)p^5 + (1-p)p^5 = (2+3p^4)(1-p)p; \\ \rho_5 &= (1-p)p^5 + (1-p)p^4 + (1-p)p^2 = [p^2(p+1)+1](1-p)p^2. \end{aligned}$$

Мінімальне значення ймовірності правильної оцінки стану ЗСЗ отримуємо при максимальній кількості перевірок:

$$P_5 = p^3; P_4 = p^6; P_3 = P_2 = p^7.$$

Отримані результати відображено на рис. 3.31 і 3.32. Їх аналіз показує, що збільшення ймовірності правильного результату оцінки стану техніки потребує більшого значення p , а максимальне значення ρ досягається при середніх оцінках стану техніки. В усіх випадках кваліфікація членів комісії, яка оцінює стан бойової готовності частини зв'язку, суттєво впливає на ймовірнісні показники якості результату перевірки: збільшення p зменшує ρ та підвищує P .

Розглянемо вимоги до значення p з умов $P \geq 0,9$ і $\rho \leq 0,5$:

$$\rho_4 = (1-p)p(3+2p^3+p^4) \leq 0,5 \text{ – рішення існує при } p \geq 0,9;$$

$$P_2 = p^7 \geq 0,9 \text{ – рішення існує при } p \geq 0,985.$$

Виконання операцій таблиці 3.4 потребує одночасного оцінювання кількох логічних умов. Відомо, що ймовірність прийняття правильного рішення при декількох логічних умовах дорівнює: одне, два – $p = 0,995$; три, чотири – $p = 0,950$; п'ять і більше – $p = 0,900$; що відповідає отриманим результатам.

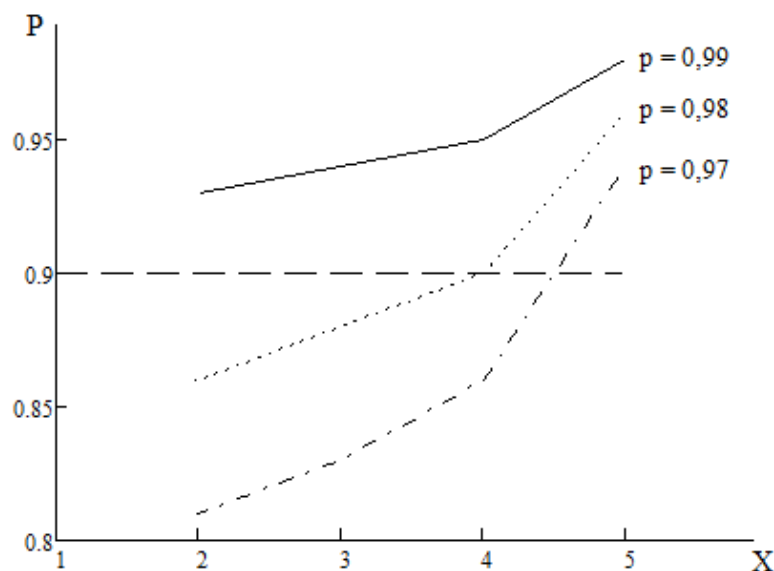


Рисунок 3.31 – Залежності мінімального значення ймовірності правильної оцінки стану зразків військової техніки зв'язку від результату оцінки її стану

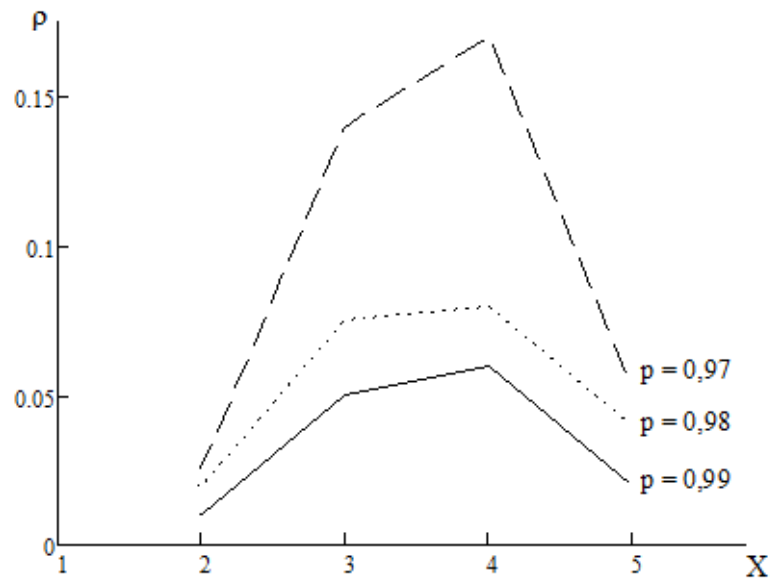


Рисунок 3.32 – Залежності математичного сподівання відхилення оцінки стану зразків військової техніки зв'язку від результату оцінки її стану

Використання отриманих результатів щодо оцінки технічного стану окремих зразків, підготовки персоналу, ДЗ і МЗ їх експлуатації дозволяє з урахуванням відомих рекомендацій формалізувати процес оцінки технічного стану АЗ (рис. 3.33).

Оцінка технічного стану окремих АЗ дозволяє в подальшому оцінити технічний стан групи однотипної техніки: вся техніка підрозділяється на 15 груп, порядок оцінки стану яких приведено на рис. 3.34, де n_i – кількість перевірених АЗ, що отримали оцінку $X_i = \overline{2,5}$; N – загальна кількість зразків техніки в групі; z_i – відсоток АЗ, що отримали оцінку i ; Z – загальна оцінка групи однотипних засобів зв'язку.

На завершальному етапі оцінки бойової готовності частини зв'язку враховують кількість справної та працездатної ВТЗ, що отримала позитивні оцінки ($Z > 2$) за групами:

1. Станції супутникового зв'язку.
2. Радіостанції великої та середньої потужності.
3. Радіостанції малої потужності.
4. Багатоканальні тропосферні та радіорелейні станції.
5. Малоканалні тропосферні та радіорелейні станції.
6. Апаратні (апаратура) ущільнення.
7. Апаратні дистанційного керування, частотно-диспетчерської служби та окремі приймальні машини.
8. Командно-штабні машини та машини автоматизованого управління військами.
9. Спеціальна апаратура (апаратні) засекречування.
10. Автоматизовані телефонні станції, телефони та телеграфні апаратні, кросові апаратні.

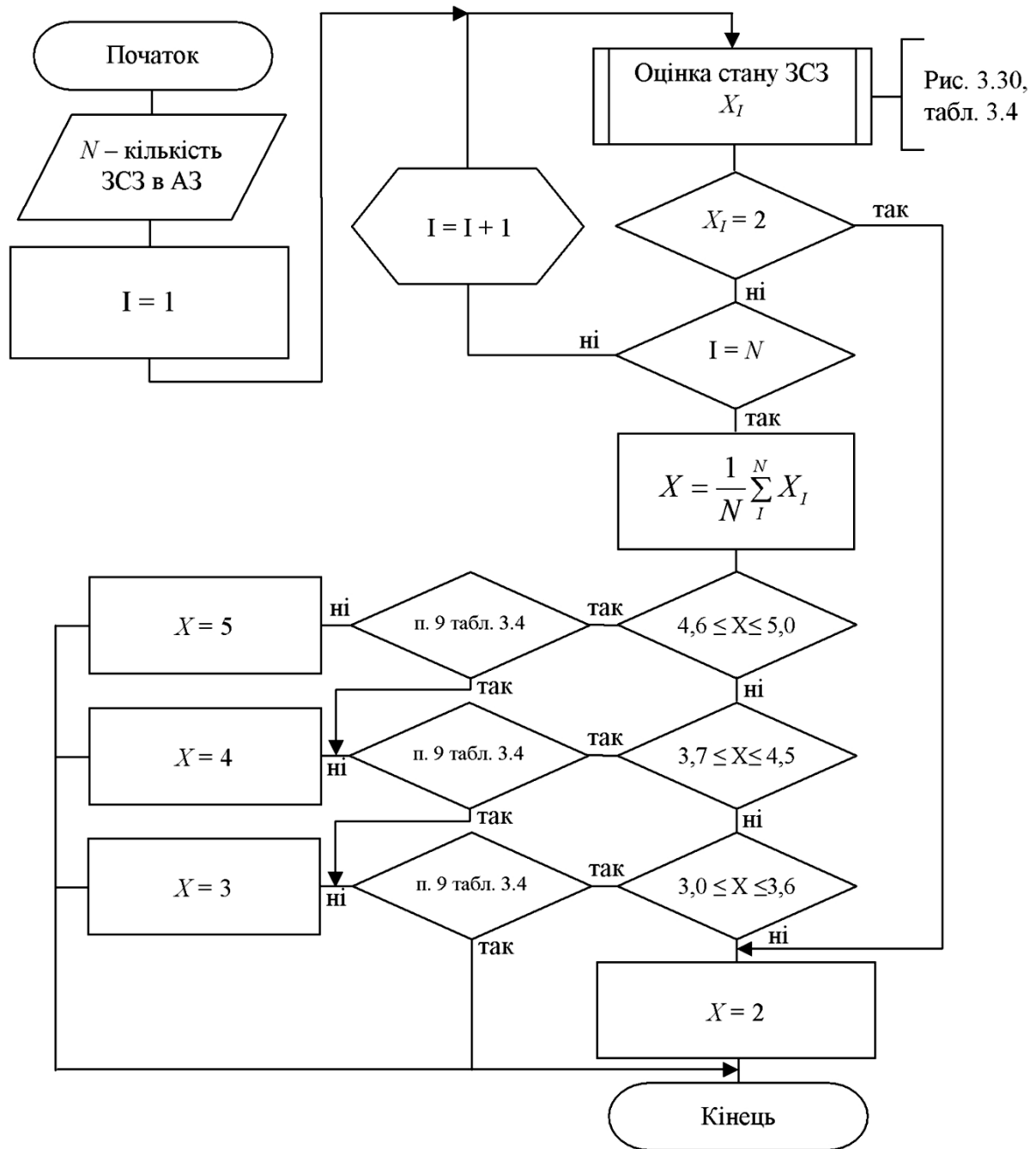


Рисунок 3.33 – Блок-схема алгоритму оцінки технічного стану апаратної зв'язку

11. Обчислювальні комплекси та абонентські пункти.
12. Станції електроживлення, рухомі зарядні бази, апаратні технічного забезпечення, комплекси засобів механізації прокладання кабелю.
13. Окремі літеродрукувальні та слухові радіоприймачі.
14. Польовий кабель.
15. Кінцеві абонентські пристрої та апаратура.

Частини зв'язку є боєздатними, якщо відношення справної та працездатної техніки до їх штатної кількості для основних груп $\eta_o \geq 0,75$ і для не основних груп $\eta_n \geq 0,5$. Для загальновійськових та вузлових частин до основних відносяться 1, 2, 6, 7, 9, 10 групи, для лінійно-кабельних частин основними групами є 6 і 14, для тропосферних та радіорелейних частин,

відповідно, 4, 5, 6 групи. При оцінці бойової готовності ССЗ доцільно їх порівняти за отриманими значеннями η_o згідно рис. 3.27, а нерівність $\eta_n \geq 0,5$ використовувати як обмеження.

В воєнний час узагальнений показник ефективності ССЗ доцільно надати у виді відносної укомплектованості військ техніки основних і не основних груп

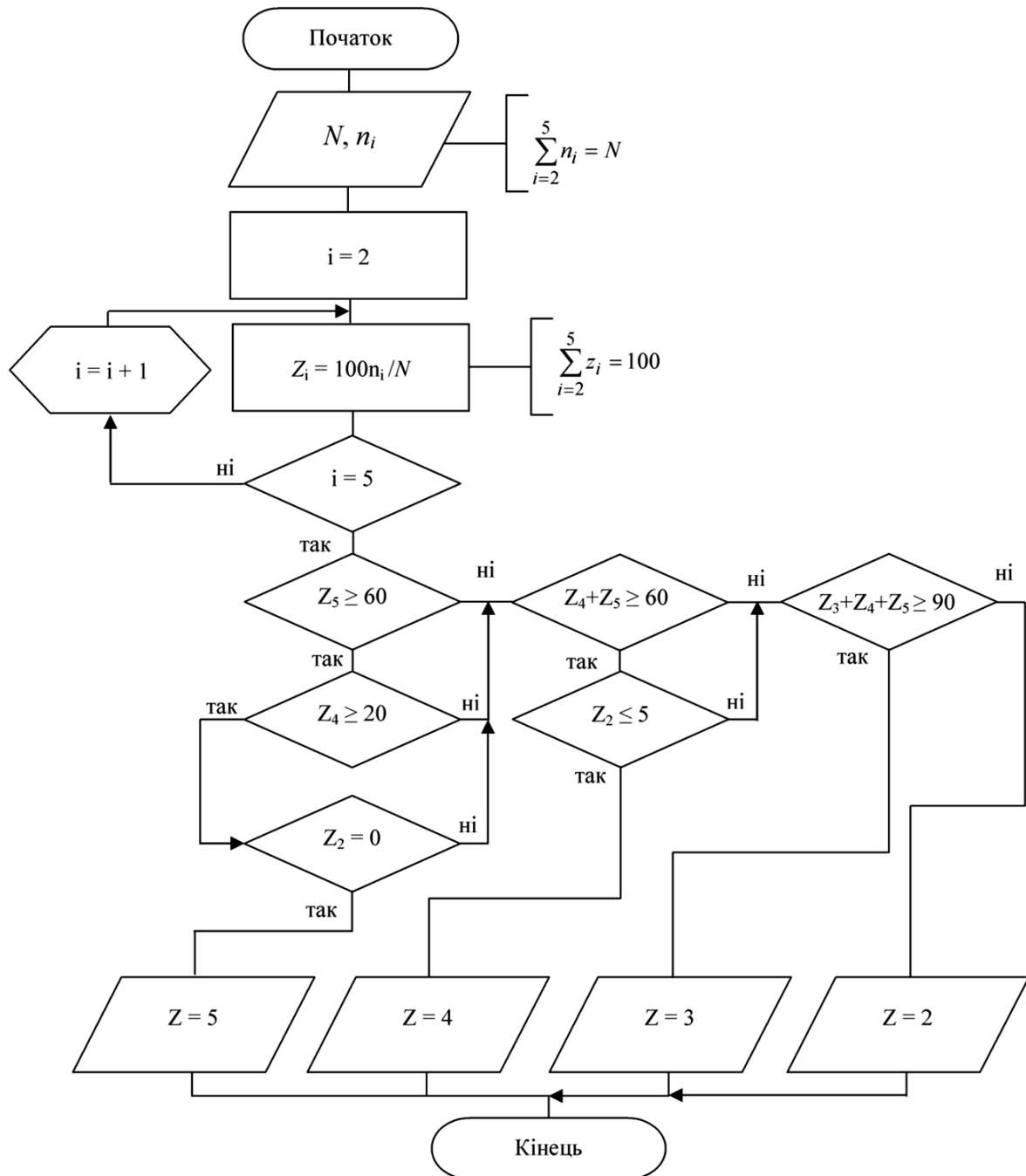


Рисунок 3.34 – Блок-схема алгоритму оцінки технічного стану груп однотипних засобів спеціального зв'язку

$$\begin{cases} \eta_o = \frac{1}{N_o} \sum_{i=1}^{N_o} \frac{N_i - N_{ni} + N_{zi} + N_{pi}}{N_{ui}} \geq Y_o; \\ \eta_n = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} \frac{N_i - N_{ni} + N_{zi} + N_{pi}}{N_{ui}} \geq Y_n; \end{cases}$$

де N_o – кількість основних груп ЗСЗ;

N_n – кількість не основних груп ЗСЗ;

N_i – початкова укомплектованість військ ЗСЗ групи i ;

N_{ni} – прогнозовані втрати ЗСЗ групи i ;

N_{zi} – запас ЗСЗ групи i ;

N_{pi} – відновлення втрат ЗСЗ групи i за рахунок ремонту;

N_{ui} – укомплектованість військ ЗСЗ групи i за штатним розкладом.

Значення Y_o , Y_n для видів Збройних Сил України задаються керівними документами, а прогноз втрат розраховують за відомими методиками. Виходячи з призначення ССЗ основна вимога до неї полягає в підтримці необхідного рівня укомплектованості сухопутних військ технікою не нижче 75% від штатної чисельності.

Повідомлялося, що результати проведеного математичного моделювання процесу відновлення техніки в ході бойових дій, а також досвід навчань дають підстави думати, що ремонтними органами може бути відновлене від 60 до 85% основних систем ЗСЗ з установленної для них трудомісткістю виконуваних робіт.

Військові фахівці США вважають що головну роль у відновленні ЗСЗ грає ремонт у польових умовах. Тому особливу увагу приділяють розробці основ організаційної структури й визначенню ступеня технічної оснащеності підрозділів і частин, що виконують цей вид ремонту. При цьому виходять із того, що їхні виробничі можливості повинні відповідати кількості техніки, що обслуговується, і її значимості в забезпеченні боєздатності військ. Ешелонування їх по фронту й у глибину повинне бути погоджене з оперативною (бойовою) побудовою військ. Крім того пропонують за необхідне передбачати можливість посилення нижчестоящих ланок системи технічного забезпечення за рахунок сил і засобів вищестоящих.

Оскільки військові ремонтні органи армії США не забезпечують 100% відновлення техніки, яка цього потребує, на думку американських військових фахівців, потрібно в мирний час вишукувати організаційні і технічні рішення, що підвищують їхні можливості. У ході бойових дій це питання частково буде вирішуватись за рахунок посилення даних підрозділів силами й засобами оперативної ланки управління.

Таким чином, приведений в підрозділі підхід дозволяє об'єктивно і комплексно оцінити дійсний стан частин зв'язку з визначенням ступеню бойової готовності та врахуванням значень ймовірнісних показників якості результату перевірки.

В підрозділі на основі проведеного аналізу відомих методів оцінювання ефективності ССЗ з врахуванням вимог керівних документів формалізований порядок дій під час перевірки задоволення дійсним вимогам.

На прикладі кількісної оцінки надійності та бойової готовності ССЗ вперше розглянуто визначення ймовірнісних показників отриманих результатів, в чому полягає наукова новизна і відмінність від відомих робіт.

Подальшими завданнями дослідження є визначення факторів, що впливають на інші показники якості ССЗ, та встановлення функціональних залежностей значення цих показників від керованих змінних, а також проведення експертного опитування провідних фахівців в галузі організації зв'язку та кількісна оцінка значень вагових коефіцієнтів окремих показників якості систем зв'язку.

Реалізація вказаних завдань дозволяє отримати комплексну оцінку ефективності ССЗ.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть, у чому полягає різниця існуючих видів ремонту засобів зв'язку,
2. Якими факторами визначається міжремонтні ресурси засобів зв'язку ?
3. Чому для засобів обчислювальної техніки відсутні планові види ремонтів?
4. Які моделі переважно використовують при розробці діагностичного забезпечення засобів зв'язку?
5. Назвіть умови побудови діагностичних моделей засобів зв'язку і поясніть їх необхідність?
6. Які параметри засобів зв'язку переважно перевіряти під час їх діагностування?
7. Що впливає на глибину пошуку дефекту під час діагностування засобів зв'язку?
8. За якими критеріями опитують форму алгоритмів діагностування засобів зв'язку?
9. Чим визначається оптимальний час дефектації засобів зв'язку з критичними дефектами?
10. Назвіть показники ефективності системи зв'язку і покажіть на них вплив надійності засобів зв'язку.

Завдання на самостійну роботу

1. Визначити переважні напрямки підвищення достовірності діагностування засобів зв'язку, обґрунтувати їх переваги і недоліки.
2. Обґрунтувати, чому раніше не використовували ефективні умовні алгоритми діагностування з модулем вибору більше двох.
3. Поясніть, як впливають умови ремонту на побудову діагностичних програм засобів зв'язку.

4. Обґрунтуйте наявність мінімуму функції середнього часу відновлення засобів зв'язку з критичними дефектами від ступеня пошкодження і часу дефектації.

5. Поясніть, чому комплексний показник надійності напрямку зв'язку менше його коефіцієнту готовності.

6. Обґрунтуйте, яким чином якість роботи ремонтних органів впливає на укомплектованість систем зв'язку засобами зв'язку.

7. Поясніть умови реалізації ремонту засобів зв'язку агрегатним методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колодний В. В. Основи технічного діагностування об'єктів та систем : навч. Посібник для студ. спец. "Інтелектуальні системи прийняття рішень" Вінницький держ. Технічний ун-т. Вінниця: ВДТУ, 2001. 78 с.
2. Абрамович О. О., Грібов В. М. Надійність і діагностика технічних систем: навч.-метод. посіб. Національний авіаційний ун-т. К: НАУ, 2005. 120 с.
3. Кісіль Т. Ю., Заїка В. М. Туз В. В. Навчально-методичний посібник з дисципліни «Діагностика та випробування приладів і машин» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування. М-во освіти і науки України, Черкас. Держ. Технол. Ун-т. Черкаси : ЧДТУ, 2019. 109 с.
4. Нагорний В. М. Введення в технічну діагностику машин : навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2011. 482 с.
5. Замиховський Л. М., Зікратий С. В., Штаер Л. О. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем: практикум. Івано-Франків. Нац. Техн. Ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 191 с.
6. Казак В. М. Основи контролю та технічної діагностики: підруч. Для студентів вищ. Навч. Закл. Нац. Авіац. Ун-т. - Київ : НАУ, 2013. 299 с.
7. Люказюк В. М., Савченко Ю. Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК. – К.: Академія, 2004. 376 с.
8. Кононов В. Б. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО / В. Б. Кононов, С. В. Водолажко, С. В. Коваль, А. М. Науменко, І. І. Кондрашова. Х.: ХНУПС, 2017. 288 с.
9. Бобало Ю. Я. Волочий Б. Ю., Лозинський С. Ю. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем. Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2013. 300 с.
10. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01. К.: Держстандарт України, 1995. 89 с.
11. Креденцер Б. П. Надійність систем з надлишковістю. Методи, моделі, оптимізація / Б. П. Креденцер, О. М. Буточнов, А. І. Міночкін, Д. І. Могилевич. К: Фенікс, 2013. 342 с.
12. Сакович Л. М. Криховецький Г. Я., Небесна Я. Е. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: ПНТУ імені Юрія Кондратюка, №2(48), 2018. – 164–166. с.
13. Гнатюк С. Є. Сакович Л. М. Методика оцінки показників надійності систем спеціального зв'язку. Озброєння та військова техніка. – №1 (5). – 2015. 26–28 с.
14. Сакович Л. М. Комплексність підходу щодо оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку за відповідними показниками якості /

Л. М. Сакович, В. П. Романенко, С. Є. Гнатюк, І. Ю. Розум // Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони. – №1 (31). К.: 2018, НУОУ імені Івана Черняхівського. 95–103 с.

15. Гнатюк С.Є. Сакович Л.М., Ришов Є.В. Кількісна оцінка надійності програмно-керованих засобів зв'язку ІСЗЗІ, Збірник наукових праць “Information Technology and security”. 2016. – том 4, №1. 84-90 с.

16. Ришов Є.В. Сакович Л.М. Метод обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату перевірки параметрів Вісник НТУУ “КПІ”, серія Приладобудування. 2017. – Вип.54(2). 96-106 с.

17. Yevhen Ryzhov. Optimization of requirements for measuring instruments at metro logical service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, MaksymYakovlev, Yuriy Nastishin // Measurement/ Journal of the International Measurement Confederation, Volume 123 (July 2018) pp. 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.03.055>.

18. Kononov V/ Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metro logical support / V. Kononov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych // Advanced Information System. Vol. 2, No. 1 pp. 91-95 DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.

19. Сакович Л.М. Теоретико-множинні моделі об'єктів зі змінною структурою /Л.М.Сакович, Г.Я.Криховецький, Я.Е.Небесна/ Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – Вип. 5(51). – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, С.136 – 139.

20. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація / Креденцер Б. П., Буточнов С. М., Міночкін А. І., Могілевич Д. І.: Фенікс, 2013. 342с.

21. Принципи побудови та перспективи розвитку програмно-керованих радіостанцій / Гнатюк С. Є. , Лівенцев С. П. , Павлов В. П. , Сакович Л. М.: Зв'язок. 2013. № 1. – С. 11–13.

22. Сакович Л. М., Небесна Я. Е., Гнатюк С. Є. Моделювання надійності програмних засобів техніки зв'язку: Зв'язок. 2013. № 1. – С. 15–18.

23. Ришов Є. В., Сакович Л. М. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на показники ремонтпридатності військової техніки зв'язку: Науково-технічний журнал ЦНДІ ОБТ ЗС України 2018. № 2(18). – С. 58–61.

24. Модель кількісної оцінки значень показників надійності радіостанцій тактичної ланки управління / Сакович Л. М., Ришов Є. В., Небесна Я. Е., Вовк С. В., Львів: Військ.-техн. зб. НАСВ. – 2019. – № 20. – С. 33–41.

25. Yevhen Ryzhov. Evaluation of reliabilityof radio-electronic devices with variable structure / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Oleksandr Puchkov, Yana Nebesna // Radio Electronics, Computer Science, Control, № 3(54), 2020, pp. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>.

26. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych. Minimization measurement requirements for maintenance and repair special communication means. Institute of Special Communication and Information Protection National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” Scientific works “Information Technology and Security”. 2017. Vol. 5. Iss. 1(8), P. 106–114.

27. Сакович Л. М., Гиренко І. М. Моделювання роботи апаратної технічного забезпечення. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: НУОУ, 2017, № 1 (28), С. 47–52.

28. Короткохвильова радіостанція Р-1150. Посібник по експлуатації ААНЗ.464414.001 РЭ, О: Телекард-Прилад, 2013. 205 с.

29. ДСТУ В 3576-97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення. Держстандарт України, Київ. 1998. 59 с.

30. ДСТУ В 3577-97. Види технічного обслуговування. Заміна комплектуючих виробів. Загальні положення. Держстандарт України, Київ. 1998. 9 с.

31. Василишин В. І., Женжера С. В., Чечуй С. В., Глушко А. Л. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем. Харків: ХНУПС, 2018. 268 с.

32. Сакович Л. М., Криховецький Г. Я., Небесна Я. Е. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, 2018, № 2(48), С. 164–166.

33. Рижов Є.В., Сакович Л.М. Метод визначення послідовності перевірки параметрів під час технічного обслуговування військової техніки зв'язку за станом: Науково-технічний журнал ЦНДІ ОБТ ЗС України 2017. № 4(16). – С. 70–72. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4\(16\).70-72](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4(16).70-72). ISSN 2414-0651.

34. Сакович Л. М., Рижов Є. В., Настишин Ю. А. та ін.. Методика визначення послідовності перевірки радіоелектронних комплексів при технічному обслуговуванні за станом. Військово-технічний збірник, Вип. № 22. Львів: НАСВ, 2020, С. 73–82.

35. Рижов Є.В. Удосконалена методика обґрунтування параметрів для метрологічного обслуговування техніки зв'язку. Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. 2018, Вип. 55 (1), С. 53–60.

36. Гнатюк С. Є., Сакович Л. М., Мирошніченко Ю. В. Моделювання порядку перевірки параметрів при технічному обслуговуванні за станом радіоелектронних засобів. Збірник “Електронне моделювання”. Київ: ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2020, т. 42, № 5, С. 120–128.

37. Сакович Л. М., Ходич О. В., Мирошніченко Ю. В. Дослідження умовних алгоритмів діагностування багатовихідних об'єктів. Збірник наукових праць “Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації”. Київ: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021, Вип. 1 (34), С. 85–93.

38. Головань С. М. Основи надійності інформаційних систем / С. М. Головань, О. В. Корнейко, О. С. Петров, В. О. Хорошко, Л. М. Щербак. – Луганськ : Вид-во “Наулідж”, 2012. – 335 с.
39. Волочій Б. Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озіровський. – Львів : Вид-во Львівська політехніка, 2012. – 128 с.
40. Гнатюк С. Є. Показники надійності систем зв'язку / С. Є. Гнатюк, Л. М. Сакович // Зв'язок. – 2013. – № 5. – С. 8–12.
41. Hrozovskii R. Complex assessment of the communications system efficiency/ Hrozovskii R., S. Voloshko, S. Gnatiuk, L. Sakovych// Political Science and Security Studies Journal, Vol. 1, № 2.(2020). pp. 77–85.
42. Сакович Л. М. Методика комплексного оцінювання ефективності системи спеціального зв'язку / Л. М. Сакович, А. Б. Таніщук, В. П. Романенко, О. М. Батиров // Науково-технічний журнал ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2018. – № 4(71). – С. 237–246.
43. Сакович Л. М. Моделювання процесу ремонту засобів спеціального зв'язку з кратними дефектами / Л. М. Сакович, В. П. Романенко, І. М. Гиренко // ПНТУ ім. Юрія Кондратюка / Системи управління навігації та зв'язку. – 2017. – № 4(42). – С. 193–197.