

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

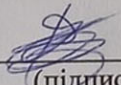
## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

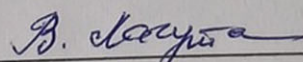
на тему: Розрахунок надійності логічної схеми відносно збоїв

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»  
зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

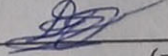
Виконав: студентка групи АТ20120

  
\_\_\_\_\_ / Дмитро ВАКУЛИЧ /  
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

  
\_\_\_\_\_ / Василь ЛАГУТА /  
(підпис керівника)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з  
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент   
\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Дніпро – 2023 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine  
Ukrainian State University of Science and Technologies**

**Faculty of Computer Technologies and Systems**

**Department of Automation and Telecommunication**

## **Explanatory Note**

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

Calculation of the reliability of the logic circuit with respect to failures

Automatics and automation on transport»

in the Specialty: 151 Automatics and computer-integrated technologies

**Dnipro – 2023**

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем  
Кафедра: Автоматика та телекомунікації  
Рівень вищої освіти: Перший (бакалаврський)  
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті  
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата \_\_\_\_\_

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту Вакулич, Дмитро

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Розрахунок надійності логічної схеми відносно збоїв

Керівник роботи: Лагута, Василь Васильович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"25 "жовтень 2022 р. № 1093-ст

2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Комбінаційна схема, що задана функцією

алгебри логіки

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: привести статистичні дані про відмови мікропроцесорних систем СЗАТ; надати метод розрахунку надійності комбінаційної схеми

4.2 Основна частина: здійснити розрахунок надійності логічної схеми

## 5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Лагута В.В., доцент		
Основна частина	Лагута В.В., доцент		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	28.02.2023	
2	1 Статистичні дані про відмови мікропроцесорних систем СЗАТ	28.02.2023	
3	2 Метод розрахунку надійності логічних схем	28.03.2023	
4	3 Розрахунок надійності комбінаційної схеми	25.04.2023	
5	Висновки	23.05.2023	
6	Перелік посилань	23.05.2023	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.05.2023	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дмитро ВАКУЛИЧ

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Василь ЛАГУТА

\_\_\_\_\_

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки:

- 40 сторінки,
- 8 рисунків,
- 13 джерел використаної літератури.

Ключові слова:

системи залізничної автоматики, карти Карно, функції алгебри логіки (ФАЛ), мінімізація, ймовірність істинності функції.

Завдання дипломної роботи: розрахувати надійність логічної схеми відносно збоїв системи залізничної автоматики.

Мета роботи – розробка математичної моделі оцінки надійності заданої логічної схеми відносно збоїв системи залізничної автоматики за допомогою карт Карно.

В першому розділі виконано аналіз відмов мікропроцесорних і релейних систем залізничної автоматики систем, розглянуті методи підвищення безвідмовності і безпеки мікропроцесорних систем.

В другому розділі створено математичну модель для розрахунку надійності логічних схем систем залізничної автоматики відносно збоїв.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та дослідженні систем залізничної автоматики та зв'язку (СЗАЗ).

В третьому розділі здійснено розрахунок надійності комбінаційної схеми системи залізничної автоматики відносно збоїв за заданою функцією алгебри логіки.

Матеріали роботи застосовуються в учбовому процесі університету в дисциплінах «Теорія надійності та діагностування», «Теоретичні основи автоматики» та «Комп'ютерні методи моделювання систем залізничної автоматики та зв'язку».

## ЗМІСТ

Вступ	7
1. Статистичні дані про відмови мікропроцесорних систем залізничної автоматики	10
1.1. Відмови мікропроцесорних систем. Методи підвищення безвідмовності і безпеки мікропроцесорних систем	10
1.2. Аналіз роботи апаратно-програмних засобів мікропроцесорних систем порівняння з системами електричної централізації	13
1.3. Сучасний стан впровадження мікропроцесорних і релейно-процесорних систем централізації стрілок в Україні	19
1.4. Висновки за розділом	21
2 Метод розрахунку надійності логічних схем	22
2.1 Розрахунок надійності логічних схем відносно збоїв	22
2.2 Метод розрахунку для визначення відмов і функціональної безпеки відповідно до графів станів	23
2.3. Висновки за розділом	25
3. Розрахунок надійності комбінаційної схеми	26
3.1. Розрахунок надійності комбінаційної схеми відносно збоїв	26
3.2. Визначення часу технічного обслуговування вузлів залізничної автоматики	33
3.3. Висновки за розділом	37
Висновки	38
Перелік посилань	39

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Системи автоматики і телемеханіки складаються з окремих елементів і вузлів, надійність яких не є абсолютною величиною. Так, наприклад, на працездатність рельсової лінії впливають вібрації від рухомих поїздів, старіння елементів рейкової лінії, забруднення баластних частинок під час перевезення вантажів. Недостатня стійкість ізоляційних матеріалів і висока провідність баласта і шпал, а також, в ряді випадків, низька якість приварки стикових з'єднувачів призводять до порушення функціонування системи автоблокування та електричної централізації. В умовах воєнного часу і інтеграції Укрзалізниці до Європейських транспортних мереж питання забезпечення руху поїздів й забезпечення надійності функціонування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) є своєчасною і актуальною задачею. Тому тема дипломної роботи, яка пов'язана із розрахунком надійності комбінаційної схеми залізничної автоматики є актуальною.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження надійності логічних схем залізничної автоматики і аналіз відмов мікропроцесорних систем залізничної автоматики.

**Методи дослідження.** Під час виконання дипломної роботи використовувалися теорія ймовірностей, математична статистика, математичний аналіз, диференціальні рівняння, теорія надійності, теорія автоматичного керування, теорія випадкових процесів.

**Практична значимість.** Виконаний аналіз відмов і запропонований метод дослідження роботи мікропроцесорних систем залізничної автоматики буде використано для аналізу функціонування систем залізничної автоматики з метою їх модифікації на станціях та перегонах України та під час викладання учбового процесу.

Порушення технології виготовлення елементів може призвести до відмови пристроїв у тих випадках, коли наслідки цього порушення не були виявлені ні при заводському контролі працівниками ОТК, ні при вхідному контролі

працівниками ремонтно-технологічних дільниць (РТД). Зазвичай несправності викликані прихованими заводськими дефектами окремих елементів — світлофорних ламп, реле, трансформаторів, електродвигунів та ін.

Порушення технології будівельно-монтажних робіт виражаються в ряді випадків в неякісному роз'єднанні кабелю, невиконання допусків при установці стрілочних електроприводів, поганому електричному монтажі. Такі порушення із-за відсутності належного контролю зі сторони обслуговуючого персоналу при прийомі пристроїв у постійну експлуатацію в подальшому приводять до відмов.

Порушення в роботі пристроїв можуть бути результатом помилок у принциповій або монтажній схемі (помилка проектувальника), а також помилок у монтажі. Як правило, такі помилки проявляються при передпусковій перевірці. Однак, якщо помилка виявлена тільки під час однієї - двох поїздок або при маршрутній ситуації, вона може іноді з'явитися з тривалим часом.

Неправильний вибір граничних елементів, наприклад невідповідність номіналу запобіжника фактичному струму або обраний тип реле напруги джерела живлення, також є результатом помилки проектувальника. При цьому часто номінальне значення параметра того чи іншого елемента відповідає даній схемі, але при зміні значення параметра в межах, допустимих технічними умовами, схема перестає працювати. Характерна помилка такого роду — застосування електролітичного конденсатора в ціпці замкнутого реле, без урахування того, що згідно з технічними умовами (ТУ) після року експлуатації його ємність може зменшитися на 50 %.

Вібрація під час прослідування поїздів впливає на стан механічних частин напільних пристроїв і при поганому обслуговуванні може призвести до порушення в них електричних контактів, наприклад контактів автоперемикача стрілкового електроприводу. На роботу рейкових кіл і автоматичної локомотивної сигналізації надають заважаючий вплив блукаючі струми, лінії електропостачання, асиметрія тягового потоку, робота зварювальних агрегатів. Виконання робіт різними організаціями та особами може призвести до

короткого замикання рейкових кіл, пошкодження підземних кабелів, повітряних ліній, світлофорів та інших пристроїв.

Таким чином, маючи надійні системи автоматики та телемеханіки, що забезпечують безпеку руху поїздів, ми маємо підлогове обладнання низької надійності.

Відмови пристроїв автоматики та телемеханіки, що сталися з вини працівників господарства сигналізації та зв'язку, розподіляються таким чином: рейкові кола – 19,4 %, апаратура – 15,3 %, електроприводи – 13,7 %, релейні шафи та стативи – 9,3%, кабельні лінії – 8,9%, елементи захисту – 7,3%, сигнали – 6%, трансформатори та перетворювачі – 5,4%, повітряні лінії – 4,1%, пульти, табло, апарати управління – 3%, акумулятори – 2,9%, стійки живлення – 1%, інші – 3,9%.

Аналіз показує, що вони є наслідком неякісного виконання робіт – 39,2%, невиконання термінів перевірки та огляду пристроїв – 25,8%, неякісної перевірки та ремонту в РТУ, майстерень – 9,8%, заводських прихованих дефектів – 7,4% , помилок, допущених під час виконання робіт, – 4,4 %, порушення правил виконання робіт – 2,5 %, схемно-конструкторських недоліків – 1,2 %, проектних помилок – 0,25 %, інші – 9,7 %. Переважна більшість відмов (91,4 %) відбувається з вини працівників, які займаються технічним обслуговуванням та ремонтом пристроїв СЦБ.

Таким чином, тема дипломної роботи, пов'язана із розрахунком надійності схем залізничної автоматики є актуальною.

# **1. СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ПРО ВІДМОВИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ**

## **1.1. Відмови мікропроцесорних систем. Методи підвищення безвідмовності і безпеки мікропроцесорних систем**

Вплив відмов пристроїв систем залізничної автоматики на поїздну роботу станцій. Відмови станційних пристроїв залізничної автоматики (ЗАТ) знижують пропускну та переробну здатність станцій. Наприклад, за даними статистики на двоколінійній ділянці довжиною 200 км відмова ЕЦ протягом двох годин знижує пропускну здатність на 1.8 поїзда на добу при середньому показнику потоку відмов і на 11 поїздів при максимальному значенні цього параметра.

При відмови пристроїв ЕЦ збільшується протяжність трьох операцій: часу приготування маршруту, часу відкриття сигналу та часу проходження поїздом маршруту прийому та відправлення. Збільшення останньої складової станційного інтервалу визначається тим, що запрошення на вхідному або вихідному світлофорі, дозвіл на бланку зеленого кольору або наказ чергового станцією, що передається по радіозв'язку, дає право машиністу пройти закритий світлофор і вести поїзд до моменту зупинки по дорозі або до першого прохідного світлофору зі швидкістю понад 20 км/год з особливою пильністю і готовністю зупинитися, якщо зустрінеться перешкода для наступного руху.

Перша складова збільшується в силу того, що при організації руху поїздів станцією протягом часу відновлення працездатності пристроїв ЕЦ черговий станції та робочі рухи, які допомагають йому, повинні виконувати низку операцій зі встановлення та поділу маршрутів, що потребують додаткового часу. Крім того, в умовах від моменту виявлення відмови черговим по станції і до моменту початку встановлення першого маршруту проходити певний відрізок часу, який по суті є "вікном".

Друга складова зростає, тому що перед прийомом або відправленням поїзду при заборонному показанні світлофора черговий станцією повинен виконати

ряд додаткових операцій, щоб особисто переконатися в готовності маршруту для його наступного використання.

На великих станціях при відмові стрілок або рейкових кіл у маршруті, що задається, є можливість завдання варіантного маршруту, внаслідок чого протяжність вікна різко скорочується та зберігається можливість роботи при автоматичній перевірці умов безпеки руху поїздів без використання у маршрутах, що задаються, пошкоджених пристроїв. У цих умовах відмови мають менший вплив на процес перевезення, а величина затримок може бути розрахована з урахуванням структурної надійності та ступеня заповнення пропускної спроможності її горловини.

У випадку впровадження системи EbiLock - 950 або іншої МПЦ необхідно також враховувати дуже важливу деталь - це достовірність отримання інформації від пристроїв на підлогу ЕЦ. Робота станційних систем автоматики багато в чому залежить від надійності роботи рейкових ланцюгів, які працюють в умовах зниженого опору баласту, впливу індустріальних перешкод, наявності великої кількості стиків, що ізолюють. Будь-яка груба відмова існуючих систем призводить до затримок поїздів, втрати безлічі клієнтів тощо.

На рис.1.1. наведено відсоткове співвідношення відмов пристроїв електричної централізації у період за 6 років на всіх дорогах дорогах Укрзалізниці (УЗ).

Всі вище згадані проблеми впливають на роботу релейних, релейно-процесорних, мікропроцесорних централізацій тією чи іншою мірою. І це необхідно враховувати під час впровадження нових систем. Якісна відмінність мікропроцесорних ЕЦ від релейних полягає в тому, що система може брати участь у прийнятті рішення оператором, або ініціювати його сама. Це ефективно, наприклад, після ліквідації відмови, за наявності великої кількості роботи у чергового станції, у разі, коли необхідно пропустити величезну кількість поїздів через станцію.

Особливо це необхідно тоді, коли до наявності всіх проблем додається відсутність певного досвіду у чергового по станції. У цьому випадку безпека

руху може бути підвищена при реалізації нових функцій, особливо в ситуаціях, коли керування бере на себе людина. У перспективі кількість інтелектуальних функцій, що виконуються мікропроцесорними системами централізації, збільшуватиметься, що має покращити показники системи централізації.

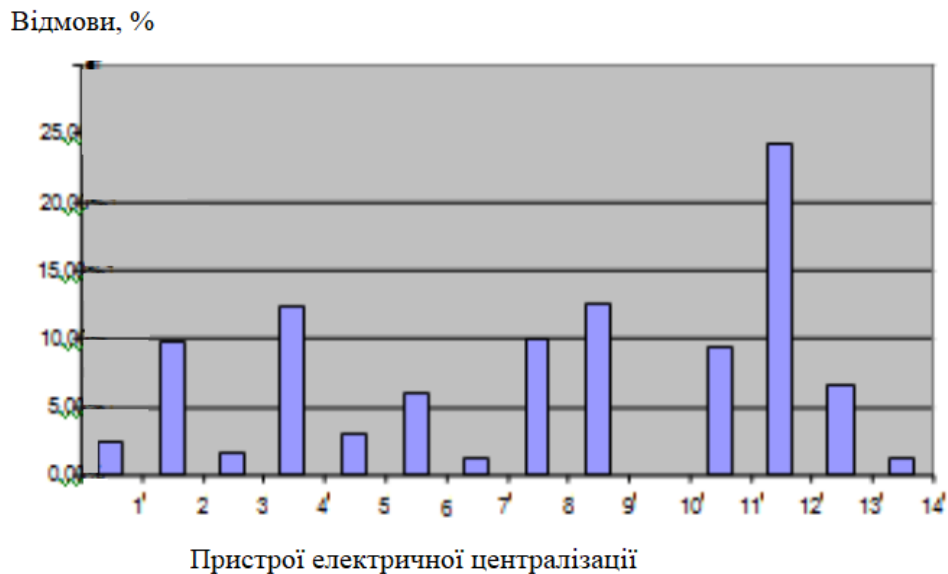


Рисунок 1.1 – Відмови електричної централізації всіх дорогах УЗ:

1 – пульти, табло, апарати керування; 2 – релейні шафи, стативи; 3 – щитові електроживильні установки; 4 – релейна та безконтактна апаратура; 5 – трансформатори, перетворювачі, випрямлячі, електричні машини; 6 – елементи захисту; 7 – акумулятори та первинні елементи; 8 – сигнали; 9 – електроприводи; 10 – повітряні лінії; 11 – кабельні лінії; 12 – рейкові кола; 13 – невстановлені об'єкти; 14 – інші.

Якщо проаналізувати статистичні дані щодо відмови в пристроях ЕЦ, то ми побачимо, що найбільше несправностей припадає на рейкові ланцюги, стрілочні електроприводи, релейну апаратуру, світлофори та елементи захисту.

Показники надійності об'єктів ЕЦ наведено у таблиці V. У цій таблиці також зазначено час затримки поїзда у зв'язку з відмовами електричної централізації, і навіть середня тривалість відмови.

На першому місці за відмовами рейкові ланцюги, які при переході на мікропроцесорну елементну базу залишаються найбільш ненадійним елементом. У зв'язку з цим необхідно підвищувати надійність автоматичного

керування рухом поїздів на найбільш напружених ділянках залізниць, що потребує достовірної та різноманітної інформації від первинних датчиків.

Таблиця 1.1 – Показники надійності об'єктів ЕЦ

Параметр	Об'єкт електричної централізації						
	Світлофори	Електропривод	Рейкові кола	Постові пристрої	Джерела живлення	Маневрові колонки	Кабельні лінії
Середня тривалість затримки одного поїзда, хв.	9,7	18,1	11,6	12,5	9,9	21	13,2
Середня тривалість затримки поїзда на одну відмову, хв.	6,21	11,95	4,99	4,25	8,6	22,26	12,8
Число затриманих поїздів, середнє на одну відмову	0,64	0,66	0,43	0,34	0,87	1,06	0,97
Число затриманих поїздів на тисячу маршрутів	0,08	0,09	0,1	0,015	0,02	0,015	0,03
Середня тривалість відмови, хв	28,1	32,3	30,8	21,1	23,2	70,6	67,9

## 1.2. Аналіз роботи апаратно-програмних засобів мікропроцесорних систем порівняння з системами електричної централізації

Аналіз стану безпеки в господарстві автоматики та телемеханіки та надійності роботи пристроїв ЗАТ проводиться з метою виявлення недоліків,

наявних у процесах розробки, виробництва та технічної експлуатації систем та пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки, що забезпечують безпеку руху поїздів.

За підсумками аналізу розробляється комплекс організаційних та технічних заходів, виконання яких призводить до підтримки безпеки руху поїздів, а також надійності роботи пристроїв ЗАТ на заданому рівні. Тому об'єктивність інформації про причини відмов має першорядне значення, що має стати головним завданням для служб автоматики та телемеханіки та дистанцій сигналізації, централізації та блокування УЗ.

Цей аналіз проведений за даними, отриманими при експлуатації пристроїв ЗАТ на мережі залізниць станом на 2022 р.

Слід зазначити, що для існуючих пристроїв електричної централізації характерні фізичний знос, моральне старіння пристроїв сигналізації, централізації і блокування (СЦБ), недостатні обсяги оновлення увійшли останніми роками до основних недоліків, які впливають на надійність роботи технічних засобів і безпеку руху.

У 2022 р. сталося 6524 відмови пристроїв ЕЦ з вини працівників господарства автоматики та телемеханіки. Частка відмов у пристроях ЕЦ від загальної кількості відмов пристроїв СЦБ у 2022 році становила 58,3 %.

При цьому на господарство автоматики та телемеханіки припадає половина відмов пристроїв ЕЦ [1].

Протягом кількох років (статистика відмов з 2014 року) основними елементами, що впливають на працездатність систем ЕЦ, є (% від загальної кількості відмов):

- монтажні з'єднання ..... 21,6 %;
- апаратура СЦБ ..... 15,3 %;
- стрілочний електропривод та гарнітура ..... 13,6 %;
- елементи рейкової лінії ..... 12,6 %;
- кабельні лінії..... 10,2 %;
- світлофори ..... 7,6 %;

- елементи захисту ..... 7,1 %;
- електроживильні пристрої ..... 2,7 %;
- пульти, апарати управління ..... 2,2 %;
- акумулятори..... 0,6 %.

Розподіл відмов за елементами, що впливають на працездатність систем ЕЦ представлено на діаграмі (рис.1.2).

Динаміка зміни відмов за мікропроцесорними та релейними системами представлена на діаграмі за питомим показником – кількість відмов на одну стрілку (рис. 1.4).

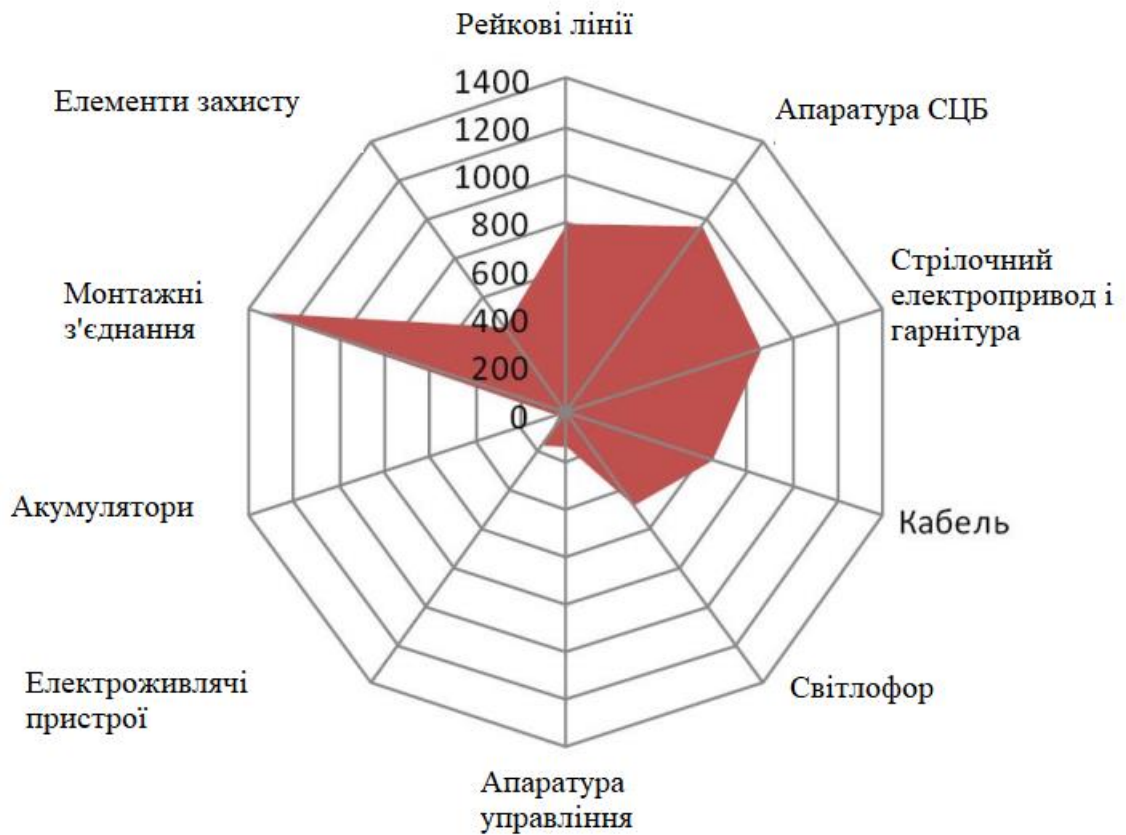


Рисунок 1.2 – Розподіл відмов пристроїв ЕЦ щодо елементів

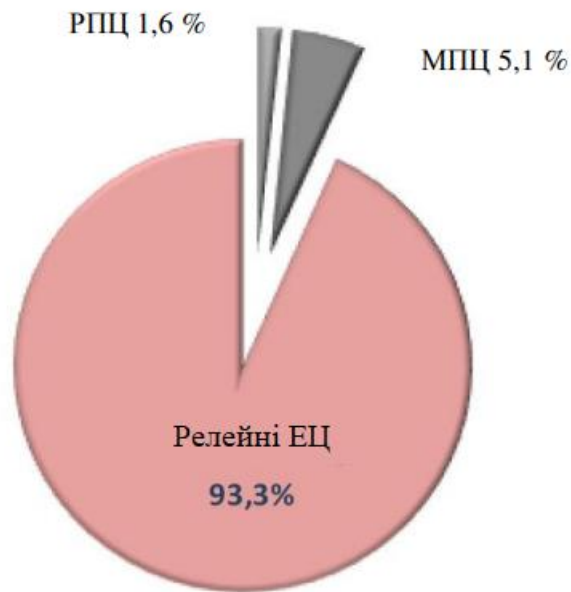


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни питомого показника відмов за мікропроцесорними та релейними системами

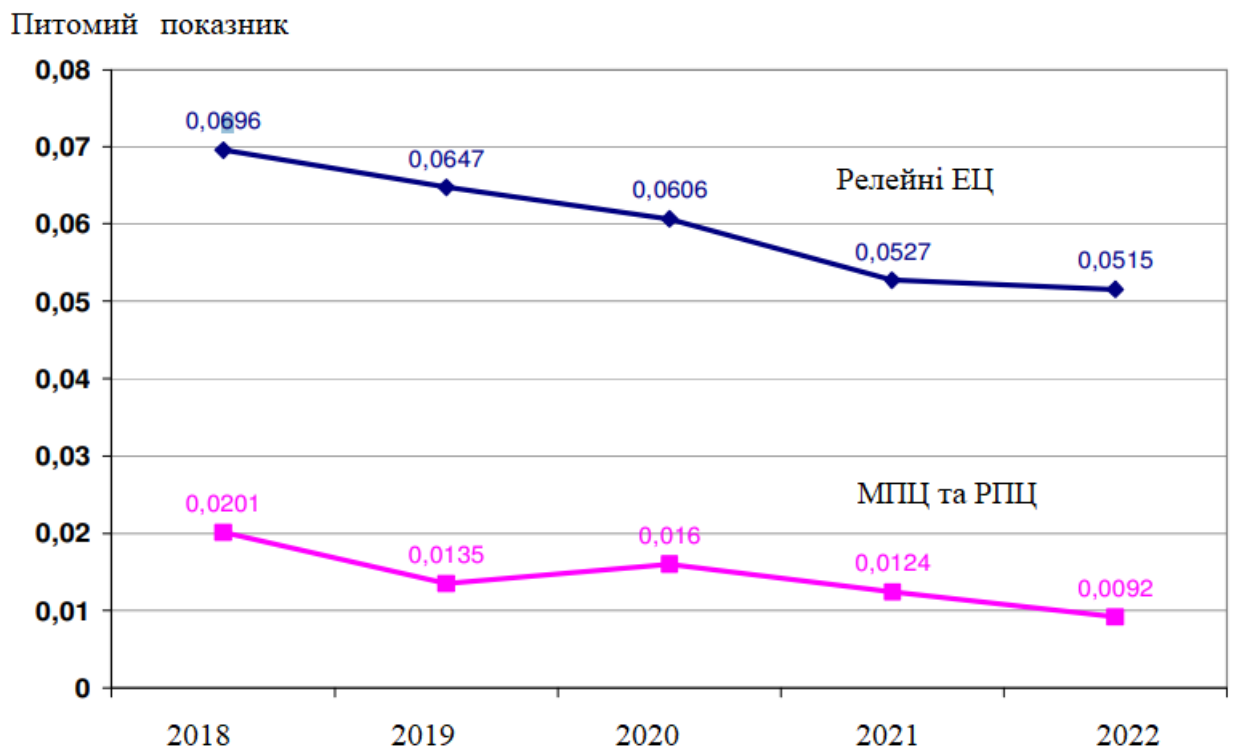


Рисунок 1.4 – Динаміка зміни питомого показника відмов за системами МПЦ та РПЦ

Загальна кількість мікропроцесорних відмов пристроїв мережі залізниць у 2022 р. на станціях, обладнаних МПЦ, віднесених на господарство автоматики та телемеханіки, склало 53 випадки. На станціях, обладнаних РПЦ, допущено 5 випадків [4].

Аналіз порушень нормальної роботи апаратно-програмних засобів МПЦ показав, що в загальній структурі відмов істотну частку становлять відмови обладнання для підлоги. Необхідно звернути особливе увагу на модернізацію підлогового обладнання з можливістю оперативної діагностики та тестування в режимі реального часу як у ручному, так і в автоматичний режим. Це завдання вирішується шляхом подальшого впровадження систем (технічної діагностики та моніторингу) ТДМ.

Причини несправності технічних засобів МПЦ:

- неправильні дії обслуговуючого персоналу;
- відмови підлогового обладнання;
- відмови електроживлення;
- вплив грозових та комутаційних перенапруг;
- недотримання температурного режиму під час експлуатації системи.

Причиною незадовільної організації усунення відмов є низька кваліфікація обслуговуючого персоналу МПЦ. Необхідно посилити контроль за знаннями обслуговуючого персоналу правил експлуатації МПЦ, звернувши увагу на знання методів пошуку та усунення несправностей, встановити контроль за своєчасним поповненням аварійно-відновного запасу відповідно до норм, якісно проводити технічне обслуговування та регламентні роботи.

Для унеможливлення виходу з ладу систем внаслідок грозових перенапруг рекомендується встановлення

Пристроїв захисту від перенапруг ПЗП на все системи МПЦ, що знаходяться в експлуатації, а також встановити контроль за своєчасною заміною пристроїв безперебійного живлення відповідно до встановленим терміном служби.

За результатами аналізу видно, що кількість відмов, віднесена до однієї стрілки, в системах РПЦ порядок нижче, ніж у релейних системах, та у кілька разів нижче, ніж у системах МВЦ. З цієї причини проглядається можливість часткової модернізації релейних систем ЕЦ (побудованих відносно недавно): заміна постової релейної апаратури на мікропроцесорну, традиційний апарат керування – АРМ ДСП.

Також варто звернути увагу на те, що в цьому аналізі наведено кількість відмов у системах МПЦ та РПЦ власне мікропроцесорних пристроїв, але ніде не вказується загальна кількість відмов на станціях, обладнаних даними системами. Так, наприклад, на 2018 р. на станціях, обладнаних МПЦ та РПЦ, допущено 402 відмови пристроїв СЦБ (включаючи традиційні пристрої СЦБ – стрілка, світлофор, рейкове коло і т. д.), в той же час кількість відмов власне мікропроцесорних пристроїв становила 70. 2019 р. картина була наступною: загальна кількість відмов – 379, мікропроцесорних пристроїв - 61.

З цієї причини слід враховувати ще й той факт, що в деяких МПЦ передбачено допоміжний ручний режим управління з метою збільшення коефіцієнта готовності при захисній відмові, в якому перевірка умов безпеки та прийняття рішень покладаються виключно на чергового станції. Аналіз катастроф і браків у роботі систем ЗАТ показує, що у більшості випадків події, що призводять до тяжких наслідків, розвиваються за наступним сценарієм. Спочатку слід відмова технічних засобів ЗАТ і, як наслідок, виникає позаштатна ситуація, що призводить до повної або часткової втрати функції управління та контролю над об'єктами черговим по станції. Потім основні функції по забезпечення безпеки руху поїздів на час усунення нештатної ситуації приймає він ДСП [5].

Таким чином, у позаштатних ситуаціях на час відновлення системи МПЦ рівень забезпечення безпеки руху поїздів на станції значно знижується, і на перший план виступає горезвісний людський фактор, з вини якого, за статистикою, відбувається близько 55% всіх відмов, що в кращому разі призвели до затримки поїздів. Особливо картина погіршується в нічний час

роботи, адже опитування, проведений серед диспетчерського та електротехнічного персоналу, підтверджує припущення, що проміжок часу з години ночі до восьмої години ранку зменшується розумова та фізична активність людини. Це явище не може не вплинути на трудову діяльність людини. Зниження уваги та логічного мислення, необхідного для прийняття рішень, адекватних оперативно-технологічним даними інформаційних систем вищого рівня, систем автоматизованого управління та власним спостереження диспетчерського персоналу, призведе до зниження ефективності його роботи. З точки зору медичних досліджень психоневрологічного стану людини в цей період когнітивна діяльність мозку людини проходить стадію хибної пасивності. Тобто моторний комплекс «пам'ять → мислення → увага» притуплений.

Для зниження ризику виникнення аварійних ситуацій у системах, критичних до безпеки, повинні знаходити дедалі ширше застосування інтелектуальні надбудови як систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом, що дозволить суттєво зменшити ймовірність помилкових дій ДСП та, як наслідок, інтенсивність аварій на залізничних станціях. Крім того, робота систем підтримки ухвалення рішення позитивно позначається на психологічному стані ДСП у штатних та позаштатних ситуаціях.

### **1.3. Сучасний стан впровадження мікропроцесорних і релейно-процесорних систем централізації стрілок в Україні**

З 2000-х рр. почалося впровадження систем залізничної автоматики, побудованої на мікропроцесорах. Перша система в Україні – РПЦ маневрового району станції «Київ-Технічний». Таким чином, реле як елементна база електричної централізації себе практично вичерпали.

В даний час мікропроцесорні і релейно-процесорні системи централізації стрілок і сигналів (МПЦ і РПЦ) знайшли впровадження на 30 станціях України, при загальній кількості 1614. Таким чином, всього близько 2% залізничних станцій України обладнано системами централізації нового покоління. У той

час як в Росії їх число становить 6,7%. Видатними вітчизняними виробниками нових програмно-апаратних рішень є ТОВ НВП «Желдоравтоматика» і «СтальЕнерго» (м. Харків), МПО «Імпульс» (м. Северодонецьк), ТОВ «Антрон». На залізничних станціях «Красноград», «Полтава» Південної залізниці для дослідної експлуатації були впроваджені РПЦ, розроблені ВАТ «Радіоавіоніка» (м. Санкт-Петербург), на ділянці «Лозова - Красноград» МПЦ Ebilock-950 (Швеція).

Переваги МПЦ і РПЦ в порівнянні з релейними системами ЕЦ є: накопичення задаються маршрутів і автоматичний вибір траси маршруту; автоматична установка маршрутів відповідно до поточним часом і графіком руху поїздів; автоматична реєстрація дій оператора і зберігання їх в пам'яті ЕОМ; автоматичне протоколювання (функції «чорного ящика»); оперативно надавати нормативно-довідкової інформації; реалізації функцій лінійного пункту диспетчерської централізації, перегляд і статистична обробка відмов в ЕЦ.

На залізницях України в системах залізничної автоматики та зв'язку застосовуються свинцеві та лужні акумуляторні батареї (АКБ). З розвитком технологій на ринку з'явилися літій-іонні (ЛІА) АКБ. Завдяки наноструктурованих топологій, літій-іонні АКБ мають безумовні переваги перед усіма існуючими на сьогоднішній день аналогами: струми заряду і розряду безпрецедентно високі; здатність ЛІА сприймати великий струм заряду дозволяє накопичувати енергію в режимі онлайн; можливість миттєво віддавати велику кількість енергії; дуже низький саморозряд, що не перевищує 2 % від початкового заряду в місяць; відсутній ефект пам'яті (не вимагає повної розрядки перед циклом заряду); високий електрохімічний потенціал (енергетична щільність); експлуатація в широкому діапазоні температур (від -40 °С + 50 °С).

Запропоновано, для вдосконалення кіл резервного електроживлення поста ЕЦ використовувати літій-іонного акумулятора, які мають на перший погляд більш високу ціну, але в системах безперервного живлення від 50 кВт.

Застосування саме ЛПА, має вищу економічну ефективність. Зараз на Придніпровській залізниці впроваджено МПЦ-У «Імпульс» вітчизняного виробника. Використання нового типу акумуляторів відповідає ДСТУ 4178-2003 і європейському сертифікату функціональної безпеки з присвоєнням рівня повноти безпеки SIL4 [5].

#### **1.4. Висновки за розділом**

Підвищити надійність роботи пристроїв в умовах експлуатації можна, виключивши втручання з боку обслуговуючого персоналу в роботу пристроїв, автоматизуючи контроль параметрів апаратури та пошук несправностей; впроваджуючи передові методи технічного обслуговування – комплексного методу обслуговування автоблокування, бригадного методу обслуговування електричної централізації, диспетчерського керівництва експлуатаційною роботою дистанції сигналізації, зв'язку та обчислювальної техніки.

Залишається ще значним число відмов через приховані дефекти виробництва, тобто з вини заводів. При постачанні заводами неякісної продукції або її відмові в період гарантійного строку дистанціям необхідно надсилати рекламачії відповідно до Положення про постачання продукції виробничо-технічного призначення. Положення передбачає застосування санкцій при виявленні будь-якої нестачі у виробі, тобто будь-якої невідповідності виробу стандартам, ТУ. Відповідно до Положення недоліки усуває постачальник або сам споживач, але у всіх випадках виробник компенсує всі витрати на відновлення виробу, сплачує штраф (5% вартості виробу) та відшкодовує збитки, заподіяні споживачеві. Якщо недолік непереборний, постачальник замінює виріб, а розмір штрафу підвищується до 20%.

## 2 МЕТОД РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЛОГІЧНИХ СХЕМ

### 2.1. Розрахунок надійності логічних схем відносно збоїв

В результаті схемно-конструктивних і виробничих недоліків, а також недоліків в системі технічного обслуговування, в господарських будівлях, системи автоматики (СЗА) можна звинуватити, як би по-іншому додають практичності. система. Деяким чином змінна схема, блок або елемент можуть бути доведені до небезпечної ситуації - марна практичність; його функції, але при всій ефективності функціональність буде знижена.

У мікроелектронній апаратурі приблизно 50% всіх відмов припадає на збої або відмови, що перемежуються (багаторазово повторюються збої) [8]. Щодо логічних елементів збій – це короткочасна фіксація хибного сигналу 0 чи 1 на виході логічного елемента.

У разі дискретного часу збій – це фіксація неправдивого сигналу протягом одного такту часу  $\tau$ . Якщо помилкова фіксація більш тривала, вважають, що збій відбувається в декількох тактах роботи поспіль.

Вочевидь, що з розрахунку логічних схем щодо збоїв необхідно враховуватиме й те, що відмова схеми визначається не лише фактом виникнення несправності того чи іншого елемента, а й ймовірністю появи в момент збою вхідного набору, у якому цей збій проявляється на виході схеми. Такий вхідний набір називають тестовим.

На першому етапі розрахунку надійності логічної схеми щодо збоїв необхідно виконати мінімізацію заданої ФАЛ схеми. Для цієї мети найзручніше використання карти Карно.

Несправність (збій)  $i$ -го елемента схеми типу  $1 \rightarrow 0$  ( $0 \rightarrow 1$ ) позначатимемо відповідно через  $n_i^0$  ( $n_i^1$ ). Наявність у схемі несправності  $n_i^0$  ( $n_i^1$ ) призводить до того, схема замість функції  $f$  реалізує помилкову функцію  $f_i^d$ , (де  $d = 0$  або  $d = 1$ ), тобто відбувається спотворення функції  $f \rightarrow f_i^d$ .

Вводиться поняття функції помилки  $\varphi_i^d$ , яке дозволяє виділяти ті вхідні набори, щодо яких несправність  $n_i^d$  є суттєвою.

Функцією помилки  $\varphi_i^d$  називається функція, що приймає значення 1 на тих вхідних наборах, на яких функція  $f$ , що реалізується справною схемою, та функція  $f_i^d$ , реалізована несправною схемою, набувають різних значень.

Для розрахунку надійності логічної схеми щодо збоїв повинні бути відомі:

- структура схеми, що реалізує функцію  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;
- імовірності  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – ймовірності того, що в момент часу  $t$  вхідна змінна  $x_j = 1$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ );
- імовірності  $q_i^0, q_i^1$ . – ймовірність того, що в момент часу  $t$  на виході  $i$ -го логічного елемента відбувається збій типу «хибна» фіксація сигналу "0" або "1".

Потрібно визначити величину  $P$  – ймовірність відсутності помилки на виході схеми на момент часу  $t$ .

Розраховуючи надійність логічної схеми щодо збоїв, припускається, що у момент часу  $t$  може статися збій у роботі лише одного елемента і що збої різних елементів є незалежними подіями.

## **2.2. Метод розрахунку для визначення відмов і функціональної безпеки відповідно до графів станів**

Визначення надійності і функціональних показників безпеки об'єктів складається з графіків їх стану, відповідно до яких визначають ймовірність того, що об'єкт знаходиться в кожному стані, ймовірність на безаварійну і безпечну експлуатацію об'єкта в цілому.

Загальний метод розрахунку заснований на акцептуванні гіпотези про найпростіший потік відмов об'єктів, який є найбільш прийнятним для аналізу їх функціонування [4]. Використовуючи цю методологія повинна відповідати наступним вимогам до потоку небезпечних відмов:

- забезпечити стаціонарність, з якою ймовірністю небезпечний збій на інтервалі часу залежить тільки від значення цього інтервалу не залежить від його розміщення інтервал на осі часу;

- забезпечення небезпечних наслідків збої, які створюють потік, з'являються одна за одну час, незалежний один від одного;

- забезпечити планування, зрив якого небезпечний відбуваються ізольовано, і ймовірність з'являється більша ніж одиниця небезпечний збій за короткий час дорівнює нулю, тобто поява більш одного небезпечного в будь-який час збій не може статися.

Розрахувати показники безвідмовності та працездатності можна виконуючі такі дії:

- побудова орієнтованих графів відмовостійкості та функціональності збереження об'єкта та визначення інтенсивності його переходів з одного стану в інший;

- складання системи диференціальних рівнів, перетворення його в систему алгебраїчних рівнів за допомогою прямого перетворення Лапласа;

- визначення зображення функції ймовірності перебування об'єкта в будь-якому стані;

- знаходимо зображення функцій шляхом зворотного перетворення Лапласа ймовірність того, що об'єкт знаходиться в кожному із станів і загальна ймовірність того, що об'єкт є безпечним, а робочі стани, які є відповідними ймовірностями безпеки та безаварійної роботи об'єкта.

Графік відмови направлено об'єкта – це граф, у якому вузлами (вершинами) є стани об'єкта з позиції надійність (працюючий і робочий; робочий, але несправний; непридатні та браковані), а ребра – можливо інтенсивність переходів з одного стану в інший (інтенсивність відмов або інтенсивності відновлення дефектних об'єктів умови).

Орієнтований граф виглядає наступним чином граф, у якому вузлі (вершині) є станами об'єкта від його положення функціональна безпека (безпечний і придатний до використання; безпечний, але дефект з небезпечною поломкою окремих елементів або канали резервування; небезпечні та несправні), а ребра – можливості інтенсивності переходів з одного стану в

інший (інтенсивність небезпечних хвилювання або інтенсивність виведення об'єкта з небезпечного стану).

Для кожного з можливих станів об'єкта диференціальне рівняння, у лівій частині якого є похідна ймовірності, що об'єкт перебуває в  $i$ -стані за часом,  $dP_i/dt$ , праворуч – алгебраїчна сума добутків інтенсивність переходу з відкритого стану або у вихідний стан з якого виходить край графіка. Якщо ребро графа спрямоване в стан, для якого складається рівняння, то перед доданком ставлять знак "плюс", якщо з цього стану – то знак "мінус". Кількість доданків у правій частині диференціальних рівнянь дорівнює числу ребер графа, що стикаються з розглянутим станом, для якого складається диференціальне рівняння, а кількість диференціальних рівнянь дорівнює числу станів об'єкта.

Всі диференціальні рівні об'єднані в систему. Розв'язування її виконуються за відомими правилами. Необхідно спростити розв'язок системи диференціальних рівнянь і використовувати пряме та зворотне перетворення Лапласа. Після визначення невідомих функцій  $P_i(t)$  оцінити ймовірність перебування об'єкта в робочому або безпечному стані (ймовірність безвідмовної або безпечної роботи), що дорівнює сумі ймовірностей  $P_i(t)$ , виключаючи ймовірність перебування об'єкта в його останньому стані, який є ймовірністю бути в непрацездатному або небезпечному стані. Тобто ймовірність безвідмовної або безпечної відмови від об'єкта треба визначити.

Після визначення ймовірності відмови або безпечної роботи визначають інші показники безвідмовності або функціональної безпеки об'єкта за формулами взаємозв'язку.

### **2.3. Висновки за розділом**

У мікроелектронній апаратурі приблизно 50% всіх відмов припадає на збої або відмови, які повторюються багато разів. В логічних елементах збій – це короткочасна фіксація хибного сигналу 0 чи 1 на виході логічного елемента.

Для розрахунку надійності логічних схем щодо збоїв здійснюють мінімізацію схеми, яка заданої функції алгебри логіки, наприклад на базі карт

Карно. Припущення для розрахунку надійності логічної схеми: у момент часу  $t$  може статися збій у роботі лише одного елемента і що збої різних елементів є незалежними подіями.

## 3 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ КОМБІНАЦІЙНОЇ СХЕМИ

### 3.1. Розрахунок надійності комбінаційної схеми відносно збоїв

Розрахувати надійність логічної схеми щодо збоїв задану функцією алгебри логіки (ФАЛ)::

$$F = \{2, 3, 4, 5, 7\} abc,$$

$$f = \{010, 011, 100, 101, 111\} \langle a, b, c \rangle.$$

Необхідно побудувати карту Карно за заданими ФАЛ і комбінаційну схему ФАЛ. Здійснити розрахунок.

Приймаємо для розрахунку значення ймовірностей безвідмовної роботи елементів рівними:

$$p_1 = 0,8; \quad p_2 = 0,5; \quad p_3 = 0,3; \quad 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1$$

$$1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 6 \ 6 \quad q = q = q = q = \dots = q = q = 0,001.$$

Потрібно визначити величину  $P$  – ймовірність відсутності помилки на виході схеми на момент часу  $t$ .

Розраховуючи надійність логічної схеми щодо збоїв, припустимо, що в момент часу  $t$  може статися збій у роботі до одного елемента і що збої різних елементів є незалежними подіями.

Зробимо мінімізацію заданої ФАЛ схеми. Для цього використовуємо карти Карно

$$f = \bar{a}b \vee ac \vee a\bar{b}, \quad (3.1)$$

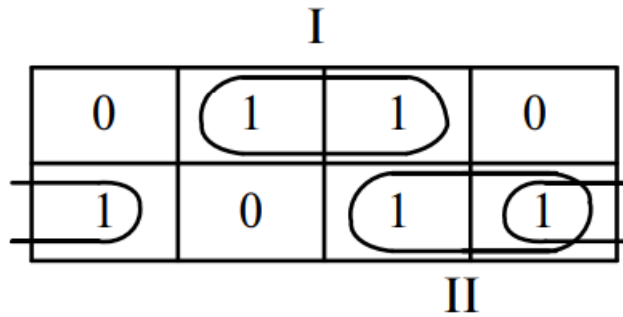


Рис.3.1. Карта Карно ФАЛ

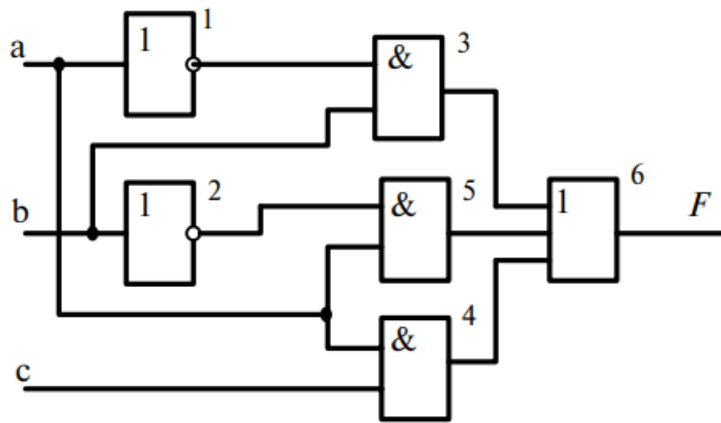


Рис.3.2. Комбінаційна схема ФАЛ

Нехай у схемі, наведеній на рис. 3.2 виникла несправність  $n_1^1$  – збій першого елемента (ІІ) типу  $0 \rightarrow 1$ . Підставляючи значення  $\bar{a} = 1$  у формулу (3.1), отримуємо функцію, що реалізується несправною схемою,

$$f_1^1 = b \vee ac \vee a\bar{b}.$$

Далі для інших несправностей (збоїв), за аналогією з попереднім, запишемо функції, що реалізуються несправними схемами для всіх елементів схеми:

$$\begin{aligned} f_1^0 &= ac \vee a\bar{b}, \\ f_2^1 &= \bar{a}b \vee ac \vee a, \\ f_2^0 &= \bar{a}b \vee ac, \\ f_3^0 &= ac \vee a\bar{b}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_3^1 &= 1, \\
f_4^0 &= \bar{a}b \vee a\bar{b}, \\
f_4^1 &= 1, \\
f_5^0 &= \bar{a}b \vee ac, \\
f_5^1 &= 1, \\
f_6^1 &= 1, \\
f_6^0 &= 0.
\end{aligned}$$

З порівняння стовпців  $f$  і  $f_1^1$  у таблиці істинності (табл. 3.1) випливає, що робота справної та несправної схем відрізняється тільки на одному наборі 110.

Вважається, що щодо цього набору несправність є суттєвою. Очевидно, якщо поява набору 110 на вході схеми є малоїмовірною подією, то й відмова схеми через збій елемента 1 є малоїмовірною подією.

Функція помилки  $\varphi_i^d$  набувають

$$\varphi_i^d = f \oplus f_i^d = f \cdot \overline{f_i^d} \vee \bar{f} f_i^d. \quad (3.2)$$

Визначимо функцію помилки для несправності  $n_1^1$ , враховуючи вирази (3.1) та (3.2):

$$\begin{aligned}
\varphi_1^1 &= f \cdot \overline{f_1^1} \vee \bar{f} f_1^1 = (\bar{a}b \vee ac \vee a\bar{b}) \cdot \overline{(b \vee ac \vee a\bar{b})} \vee \\
&\vee \overline{(\bar{a}b \vee ac \vee a\bar{b})} \cdot (b \vee ac \vee a\bar{b}) = a \cdot b \cdot \bar{c} = \{6\}.
\end{aligned}$$

У табл. 3.1 наведено функції помилки для несправностей всіх елементів схеми, наведеної на рис. 3.2.

Для розрахунку були обрані такі значення ймовірностей для обраної логічної схеми:

$$p_1 = 0,8; p_2 = 0,5; p_3 = 0,3;$$

$$q_1^0 = q_1^1 = q_2^0 = q_2^1 = \dots = q_6^0 = q_6^1 = 0,001$$

Розрахунок надійності комбінаційних схем виконаємо в наступній послідовності.

1. Визначаємо ймовірності  $R_k$  появи вхідних наборів у час  $t$ , які заносимо в табл. 3.2. Оскільки всі набори становлять повну групу подій, отже

$$\sum_{k=1}^7 R_k = 1. \quad (3.3)$$

2. Визначаємо можливість істинності функції

$$P_f = \sum_1 R_k, \quad (3.4)$$

як суму ймовірностей появи дозволених наборів:

$$\begin{aligned} P_f &= R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_7 = \\ &= 0,07 + 0,03 + 0,28 + 0,12 + 0,12 = 0,62, \end{aligned}$$

де  $P_f$  - є ймовірність того, що момент часу  $t$  на виході справної схеми є сигнал логічної одиниці - "1".

3. Обчислюємо функції помилки для збоїв типу  $1 \rightarrow 0$  та  $0 \rightarrow 1$  всіх елементів схеми, наведеної на рис. 3.2, які заносяться до табл. 3.1

Функції помилок:

$$\begin{aligned} \varphi_1^1 &= \{6\}; \quad \varphi_1^0 = \{2, 3\}; \quad \varphi_2^1 = \{6\}; \quad \varphi_2^0 = \{4\}; \\ \varphi_4^1 &= \{0, 1, 6\}; \quad \varphi_4^0 = \{7\}; \quad \varphi_5^1 = \{0, 1, 6\}; \quad \varphi_5^0 = \{4\}; \\ \varphi_6^1 &= \{0, 1, 6\}; \quad \varphi_6^0 = \{2, 3, 4, 5, 7\}; \end{aligned}$$

Таблиця 3.1 – Таблиця істинності із вказанням значень функції помилок для збоїв типу  $1 \rightarrow 0$  ( $0 \rightarrow 1$ )

	$a$	$b$	$c$	$f$	$f_1^1$	$\varphi_1^1$	$\varphi_1^0$	$\varphi_2^1$	$\varphi_2^0$	$\varphi_3^1$	$\varphi_3^0$	$\varphi_4^1$	$\varphi_4^0$	$\varphi_5^1$	$\varphi_5^0$	$\varphi_6^1$	$\varphi_6^0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
3	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
5	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

4. Для кожної несправності  $n_i^d$  обчислюємо ймовірність істинності функції помилки  $p(\varphi_i^d)$  – це умовна ймовірність того, що на виході схеми відбувається помилка за наявності збою  $n_i^d$ :

$$p(\varphi_i^d) = \sum_1 R_k \quad (3.5)$$

де до суми включаються ті набори, на яких функція  $\varphi_i^d = 1$ .

Ймовірність появи вхідних наборів у момент часу дано в табл.3.2.

$$\begin{aligned}
 p(\varphi_1^1) &= R_6 = 0,28; & p(\varphi_1^0) &= R_2 + R_3 = 0,1; \\
 p(\varphi_2^1) &= R_6 = 0,28; & p(\varphi_2^0) &= R_4 = 0,08; \\
 p(\varphi_3^1) &= R_0 + R_1 + R_6 = 0,38; & p(\varphi_3^0) &= R_2 + R_3 = 0,1; \\
 p(\varphi_4^1) &= R_0 + R_1 + R_6 = 0,38; & p(\varphi_4^0) &= R_7 = 0,12; \\
 p(\varphi_5^1) &= R_0 + R_1 + R_6 = 0,38; & p(\varphi_5^0) &= R_4 = 0,28; \\
 p(\varphi_6^1) &= R_0 + R_1 + R_6 = 0,38; & p(\varphi_6^0) &= R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_7 = 0,42;
 \end{aligned}$$

Таблиця 3.2 – Ймовірності появи вхідних наборів в момент часу  $t$

	$a$	$b$	$c$	$f$	$R_k$
0	0	0	0	0	$R_0 = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_3) = 0,07$
1	0	0	1	0	$R_1 = (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot P_3 = 0,03$
2	0	1	0	1	$R_2 = (1 - P_1) \cdot P_2 \cdot (1 - P_3) = 0,07$
3	0	1	1	1	$R_3 = (1 - P_1) \cdot P_2 \cdot P_3 = 0,03$
4	1	0	0	1	$R_4 = P_1 \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_3) = 0,28$
5	1	0	1	1	$R_5 = P_1 \cdot (1 - P_2) \cdot P_3 = 0,12$
6	1	1	0	0	$R_6 = P_1 \cdot P_2 \cdot (1 - P_3) = 0,28$
7	1	1	1	1	$R_7 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0,12$

5. Визначаємо ймовірності  $Q_i^d$  – ймовірність того, що в момент часу  $t$  станеться збій  $n_i^d$  і це призведе до виникнення помилки на виході системи:

$$Q_i^d = q_i^d \cdot p(\varphi_i^d). \quad (3.6)$$

Результаті розрахунків:

$$\begin{aligned} Q_1^0 &= q_1^0 \cdot p(\varphi_1^0) = 0,001 \cdot 0,1 = 1 \cdot 10^{-4}; \\ Q_1^1 &= q_1^1 \cdot p(\varphi_1^1) = 0,001 \cdot 0,28 = 2,8 \cdot 10^{-4}; \\ Q_2^1 &= 2,8 \cdot 10^{-4}; & Q_2^0 &= 0,8 \cdot 10^{-4}; \\ Q_3^1 &= 3,8 \cdot 10^{-4}; & Q_3^0 &= 1 \cdot 10^{-4}; \\ Q_4^1 &= 3,8 \cdot 10^{-4}; & Q_4^0 &= 1,2 \cdot 10^{-4}; \\ Q_5^1 &= 3,8 \cdot 10^{-4}; & Q_5^0 &= 0,8 \cdot 10^{-4}; \\ Q_6^1 &= 3,8 \cdot 10^{-4}; & Q_6^0 &= 4,2 \cdot 10^{-4}. \end{aligned}$$

З порівняння отриманих значень  $Q_i^d$  випливає, що різні відмови елементів нерівноцінні з погляду їхнього впливу вихід схеми. Найбільший вплив має відмова типу  $1 \rightarrow 0$  елемента 6 з максимальним значенням  $Q_6^0 = 4,2 \cdot 10^{-4}$ .

6. Визначаємо ймовірності збою на виході схеми на момент часу  $t$

$$Q = \sum_{i=1}^6 Q_i^0 + \sum_{i=1}^6 Q_i^1 = 22.8 \cdot 10^{-4}.$$

Імовірність відсутності збою в момент часу  $t$  (надійність щодо збоїв) дорівнює

$$P = 1 - Q = 1 - 22,8 \cdot 10^{-4} = 0,99772.$$

### **3.2. Визначення часу технічного обслуговування вузлів залізничної автоматики**

Технічна система (ТС) – сукупність технічних пристроїв (елементів), призначених для виконання певної функції або функцій. Відповідно, елемент - складова частина системи.

Розподіл ТС на елементи досить умовно і залежить від постановки завдання розрахунку надійності. Наприклад при аналізі працездатності технологічної лінії її елементами можуть вважатися окремі установки і верстати, транспортні та завантажувальні пристрої тощо. В свою чергу верстати і пристрої також можуть вважатися технічними системами і при оцінці їхньої надійності повинні бути розділені на елементи - вузли, блоки, які, у свою чергу— на деталі тощо.

При визначенні структури ТС доцільно розділити всі елементи на чотири групи:

1. Елементи, пошкодження яких практично не впливає на працездатність системи (наприклад, деформація кожуха, зміна фарбування поверхні тощо).
2. Елементи, працездатність яких за час експлуатації практично не змінюється і ймовірність безвідмовної роботи близька до одиниці (корпусні деталі, мало навантажені елементи з великим запасом міцності).
3. Елементи, ремонт або регулювання яких можливий при роботі виробу або під час планового технічного обслуговування.
4. Елементи, відмова яких сама по собі або в сполученні з відмовами інших елементів приводить до відмови системи.

Очевидно, при аналізі надійності ТС має сенс включати до розгляду тільки елементи останньої групи.

Для розрахунків параметрів надійності використовуються структурно логічні схеми надійності ТС, які графічно відображають взаємозв'язок елементів та їхній вплив на працездатність системи в цілому.

Структурно-логічна схема являє собою сукупність раніше виділених елементів, з'єднаних один з одним послідовно або паралельно. Критерієм для визначення виду з'єднання елементів (послідовного або паралельного) при побудові схеми є вплив їхньої відмови на працездатність ТС.

Стосовно рейкового кола (РК) було з'ясовано, що станційна ізольована секція має вісім стійких станів (рис. 3.2). Відомо, що узагальнюючим параметром в рейковому колі, як складовому елементі станційної ізольованої секції, є напруга на колійному приймачі  $U_{кп}$  і на яку впливає багато зовнішніх дестабілізуючих факторів. Аналіз експлуатаційних відмов РК, за даними АРМ-ШЧД служби Ш Південної залізниці, показав, що у 32,53% випадках відбувається поступова зміна властивостей елементів у часі, тобто відбувається процес накопичення несправностей. Раптовий характер зафіксовано у 51,95% випадках. Інші складові експлуатаційних відмов: вплив обслуговуючого персоналу – 3,51%, причину не встановлено – 12,01%. Стратегію по фактичному стану можливо застосувати для першого випадку, тобто для “поступових” відмов. Причинами таких відмов у РК є: збільшення опору стикових з'єднувачів та дросельних перемичок, їх обрив; зменшення опору ізоляції рейкової лінії; збільшення перехідних опорів в місцях з'єднань; зменшення опору ізоляції кабельної лінії. Для визначення закону зміни математичного очікування  $U_{кп}$  та її дисперсії у часі, було проведене математичне моделювання. В класичну модель РК [10] були додані елементи, що дозволили врахувати вплив вище наведених причин. Моделювання проводилось для РК по нормалі РЦ25-ДСШ15-ЭТ00-С-93. При моделюванні роботи РК було визначено, що

математичне очікування та дисперсія  $U_{кп}$  на протязі року змінюються за наступними залежностями:

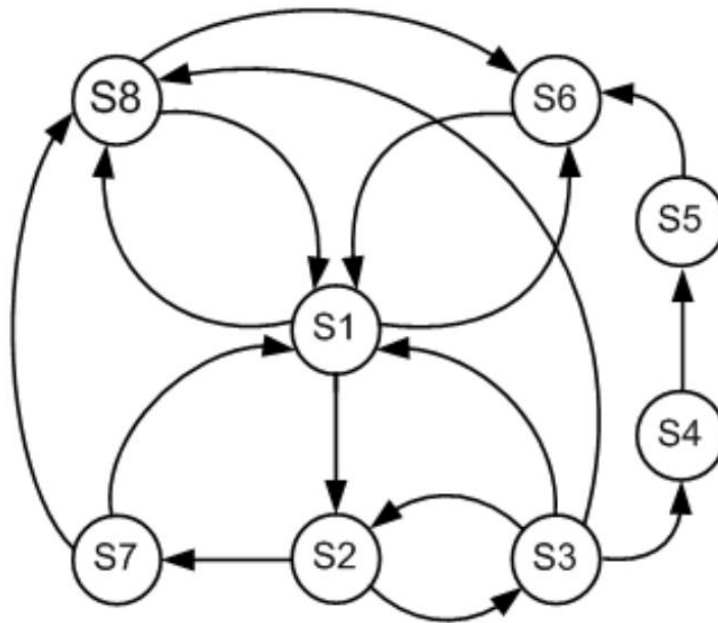


Рис. 3.3. Граф станів рейкового кола

$$U_{кп}(t) \begin{cases} m(t) = 21,8 \times e^{0,000068 \times t}; \\ \sigma(t) = 0,095 \times e^{0,00042 \times t}; \end{cases}$$

В результаті застосування до отриманих законів розподілу  $m(t)$  та  $\sigma(t)$   $U_{кп}$ , зі значеннями  $t_{н\text{пвр}} + t_{п} = 24$  год,  $U_{нп} = 11,9$  В, були отримані залежності, що представлені на рис. 3.4. Залежності добре узгоджуються як с теоретичними, так і з експериментальними даними. Експериментальне дослідження стрілочних переводів за даними роботи АРМ електромеханіка з ТО станційних пристроїв ЗА ст. Нова Баварія Південної залізниці показало, що час переведення ( $t_{пер}$ ) є одним з показників стану [13].

Таблиця 3.3 – Стани рейкового кола

Номер стану	Характеристика стану
S1	Станційна ізольована секція вільна та незамкнена у маршруті, напруга на колійному релеу у зоні справності
S2	Вільна й замкнена у маршруті
S3	Зайнята й замкнена у маршруті
S4	Хибна з зайнятістю у маршруті
S5	Хибна з зайнятістю у маршруті, знаходиться у стані штучного розмикання
S6	Хибна з зайнятою не у маршруті
S7	Вільна й замкнена у маршруті, знаходиться у стані штучного розмикання
S8	Станційна ізольована секція вільна та незамкнена у маршруті, напруга на колійному релеу у зоні несправності

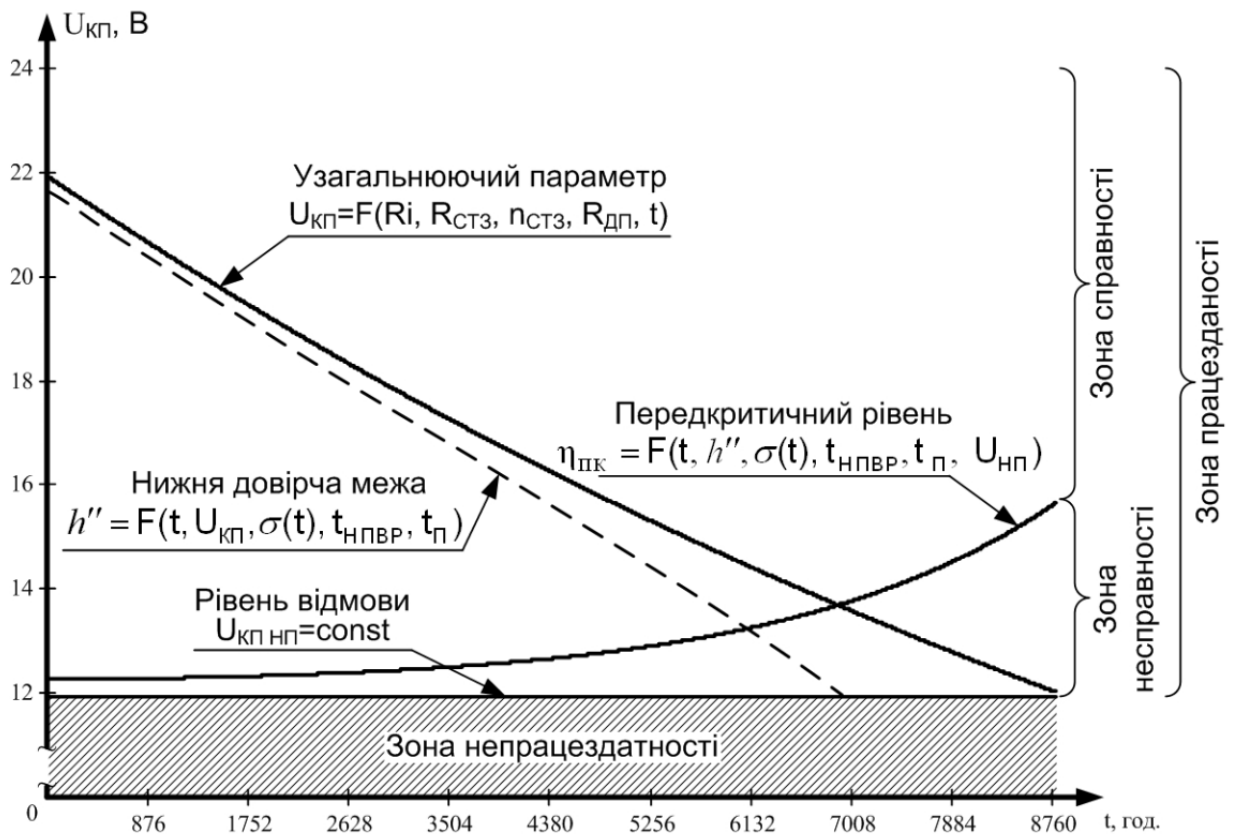


Рис.3.4. Результати моделювання рейкового кола

В результаті проведених досліджень з'ясовано, що до окремих станційних пристроїв ЗА можливе застосування стратегії ТО по фактичному стану. Запропонована модель зупинки експлуатації дозволить підвищити експлуатаційну надійність станційних пристроїв ЗА шляхом проведення планово-попереджувальних робіт (ПВР), які відповідно мають попереджувальний характер.

Висновки. Для розглянутої в роботі логічної схеми з заданими значеннями ймовірностями безвідмовної роботи елементів схеми ймовірність збою на виході схеми на момент часу  $t$  складає  $Q = 22.8 \cdot 10^{-4}$ , ймовірність відсутності збою в момент часу  $t$  (надійність щодо збоїв) дорівнює  $P = 0,99772$ .

### 3.3. Висновки за розділом

Відповідно до завдання було складено комбінаційну схему, Карту Карно для визначеної ФАЛ, виконано мінімізацію розраховано надійність комбінаційної схеми в наступній послідовності.

- визначено ймовірність  $R_k$  появи вхідних наборів у час  $t$  і складено відповідну таблицю;
- визначено можливість істинності функції;
- визначено функції помилки для збоїв типу  $1 \rightarrow 0$  та  $0 \rightarrow 1$  всіх елементів схеми залізничної автоматики;
- обчислено ймовірність істинності функції помилки  $p(\varphi_i^d)$  – це умовна ймовірність того, що на виході схеми відбувається помилка за наявності збою  $n_i^d$ ;
- визначено ймовірності  $Q_i^d$  – ймовірність того, що в момент часу  $t$  станеться збій  $n_i^d$  і це призведе до виникнення помилки на виході системи;
- визначено ймовірності збою і його відсутності на виході схеми на момент часу  $t$ .

Імовірність відсутності збою в момент часу  $t$  (надійність щодо збоїв)  
дорівнює  $P=0,99772$ .

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» зібрані статистичні дані про відмови мікропроцесорних і релейних систем залізничної автоматики.

На підставі виконаних досліджень викладено нові науково-обґрунтовані технологічні та організаційно-управлінські рішення по вдосконаленню планування, управління та оцінки діяльності лінійних підприємств і структурних підрозділів господарства автоматики і телемеханіки. Дослідження має істотне значення для розвитку залізничного транспорту, підвищення ефективності організації його роботи.

Вони представлені нижче у вигляді підсумків, рекомендацій і перспектив.

1. В умовах обмежених виробничих ресурсів і наявності нових, недоступних можливостей автоматизованого збору та аналізу більших обсягів різної статистичної інформації необхідно вдосконалення методів планування та управління виробничими процесами експлуатація транспортної інфраструктури на основі ризик-менеджменту.

2. З допомогою аналізу ризиків потенційних поїздок із-за відмов технічних засобів ЖАТ має можливість управління надійністю інфраструктури, включаючи планування, оцінку необхідних ресурсів, а також оцінку якості технічної експлуатації засобів і систем залізничної автоматики з точки якості виконання перевізних послуг залізничним транспортом.

Розроблено метод розрахунку надійності комбінаційних логічних схем систем залізничної автоматики. Імовірність відсутності збою в момент часу  $t$  (надійність щодо збоїв) дорівнює  $P=0,99772$ .

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Експлуатаційна надійність пристрій СЦБ. Аналіз відмовив пристроїв СЦБ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lokomotiv.ru/scb/preduprezhdenie-i-ustranenie-neispravnostey-scb-2.html>
2. Факторний аналіз стану безпеки руху поїздів та надійності роботи пристроїв ЗАТ. [Електронний ресурс]. Режим доступу [http://static.scbist.com/scb/uploaded/1056\\_1359897567.pdf](http://static.scbist.com/scb/uploaded/1056_1359897567.pdf)
3. В.В. Шкуринов. Аналіз роботи апаратно-програмних засобів мікропроцесорних систем. Порівняння з традиційними (релейними) системами електричної централізації. Вісник БДУТ: Наука та транспорт. 2014. № 1 (28) – с. 24-26.
4. Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
5. Тези [Текст]: Всеукраїнської конференції студентів та молодих вчених 2018 р. «Інформаційно-управляючі технології і системи на залізничному транспорті» / за ред. ст. викл. Паніка Л. О. та Дзюби В. В.; Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2018. –91 с.
6. Kallistratos Dionelis - Traffic Technology International – January 2011.
7. Michele Bernocchi, Emilio Miguelanez - “The contribution of European Research to more intelligent Railway Maintenance: the InteGRail project” - Euromaintenance 2010 International Congress - Verona Fiere – 14.05.2010.
8. Paolo Umiliacchi, Didier van den Abeele, Pieter Dings, Valerio Recagno – “Turning Railways into an Intelligent Transportation System by better Integration, Management and Exchange of Information” - ITS World Congress – Stockolm – September 2009

9. Лагута В.В., Сердюк Т.М., Пархоменко А.А. АНАЛІЗ ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2017, № 13. – с.57-65.
10. Paolo Umiliacchi, David Lane, Felice Romano. Predictive maintenance of railway subsystems using an Ontology based modelling approach. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/260302900\\_Predictive\\_maintenance\\_of\\_railway\\_subsystems\\_using\\_an\\_Ontology\\_based\\_modelling\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/260302900_Predictive_maintenance_of_railway_subsystems_using_an_Ontology_based_modelling_approach)
11. Maarten Giltaij. Optimizing Long-Term Planning of Railway Maintenance // Transport, Infrastructure and Logistics MSc Thesis at the Delft University of Technology to be defended publicly on Wednesday October 24th, 2018 at 15:00.
12. А. М. Безнаритний<sup>1</sup>, В. І. Гаврилюк<sup>1</sup>, О. О. Гололобова. Аналіз сучасного стану пристроїв автоблокування, методів його обслуговування та контролю // Наука та прогрес транспорту. Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 1 (49). – с. 22 – 30.
13. Лапко А.О. Метод визначення часу призначення планово-відновлювальних робіт технічного обслуговування станційних пристроїв залізничної автоматики Збірник наукових праць. ДонІЗТ. 2005 №4. – с.34 – 40.