

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

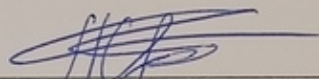
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Удосконалення процесу локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу з використанням систем нечіткого висновку»

за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

зі спеціальності: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Виконав: студент
групи «АТ2322»

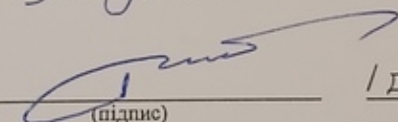


(підпис студента)

/ Олександр ТІГАНОВ /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:



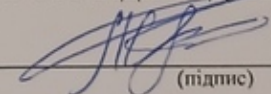
(підпис)

/ доц. Роман РИБАЛКА /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент



(підпис)

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

Faculty «Computer technologies and systems»
Department «Automatics and Telecommunication»

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: « Improving the fault localisation process in the relay-based electric interlocking system using fuzzy inference systems»
according to educational curriculum «Automatics and Automation on transport»
in the Speciality: «174 Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2322: / Oleksandr TIHANOV /

Scientific Supervisor: / Roman RYBALKA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра: «Автоматика та телекомунікації»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Спеціальність: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

З А В Д А Н Н Я

1. Тема роботи: Удосконалення процесу локалізації несправностей
в системі електричної централізації релейного типу з використанням систем
нечіткого висновку

Керівник роботи: Рибалка Роман Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом від «05» 01 2024 р. № 20ст

2. Строк подання студентом роботи: 16.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: фрагмент схеми наборної групи
системи блочної маршрутно-релейної централізації

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

4.1 Аналітична частина: аналітичний огляд застосування систем електричної централізації, у т.ч. на релейній елементній базі (ЕЦР), на залізницях України, процесу локалізації несправностей в системі ЕЦР (у т.ч. з використанням систем нечіткого висновку) та обґрунтування актуальності роботи, огляд пристроїв для автоматичного визначення стану реле в системі ЕЦР та способів визначення місць їх встановлення в системі ЕЦР, огляд середовищ для моделювання роботи системи ЕЦР; формулювання об'єкту дослідження та мети роботи.

4.2 Основна частина: розробка моделі системи ЕЦР відповідно вихідним даним для моделювання її роботи у справному стані і з певними несправностями та обґрунтування її адекватності; визначення доцільності включення певних елементів системи ЕЦР до множини елементів, які потребують контролю їх стану, за допомогою систем нечіткого висновку; отримання інформації про несправності, які визначено для певних множин елементів, що перебувають під контролем їх стану, залежно від цих множин; розробка рекомендацій щодо включення певних елементів системи ЕЦР до множини елементів, які потребують контролю їх стану.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: –

4.4 Економічна частина: –

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

18 слайдів для презентації

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Аналітичний огляд літератури	01.12.2024	30 %
2	Розробка моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації	15.12.2024	60 %
3	Визначення множини елементів системи електричної централізації на релейній елементній базі, які потребують контролю їх стану. Висновки	12.01.2025	100 %
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	16.01.2025	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.2025	

Студент

_____ (підпис студента)

Олександр ТІГАНОВ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Роман РИБАЛКА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

77 с., 17 рис., 5 табл., 23 джерел, 5 додатків.

Об'єкт дослідження – процес локалізації несправностей в системі блочної маршрутно-релейної централізації.

Мета роботи – удосконалити процес локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу шляхом використання систем нечіткого висновку

Методи дослідження: для обґрунтування вибору множини елементів системи фрагменту системи блочної маршрутно-релейної централізації, які потребують моніторингу їх стану – система нечіткого висновку; для розробки та емуляції фрагменту системи блочної маршрутно-релейної централізації – комп'ютерне моделювання.

В першому розділі виконано аналітичний огляд літератури та обґрунтовано доцільність виконання роботи.

В другому розділі розроблено систему нечіткого висновку та розроблено програмний емулятор системи БМРЦ для досліджень.

В третій частині проведено дослідження ефективності процесу локалізації відмов шляхом використання систем нечіткого висновку, та наведені висновки до роботи.

Результати роботи можуть стати основою для подальшої перевірки економічної ефективності дослідженого методу.

Ключові слова: СИСТЕМА НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ, ЛОКАЛІЗАЦІЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ, БЛОЧНА МАРШРУТНО-РЕЛЕЙНА ЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОГРАМУВАННЯ

ЗМІСТ

Реферат	6
Зміст	7
Вступ.....	10
1 Аналітичний огляд літератури.....	12
1.1 Огляд традиційних систем керування рухом поїздів	12
1.1.1 Систем блокування на перегонах. Загальна характеристика	12
1.1.2 Станційні системи керування рухом поїздів. Загальна характеристика	13
1.1.3 Диспетчерська централізація. Загальний огляд	15
1.2 Огляд сучасних систем залізничної автоматики.....	16
1.2.1 Система мікропроцесорної централізації «Ebilock 950».....	16
1.2.2 Система мікропроцесорної централізації МПЦ-У.....	19
1.2.3 Система мікропроцесорної диспетчерської централізації МДЦ-У	21
1.2.4 Висновок до огляду систем керування рухом поїздів.....	22
1.3 Аналіз ефективності систем автоматики на основі реле.....	23
1.3.1 Недоліки релейних систем	25
1.3.2 Аналіз експлуатації існуючих систем керування рухом поїздів.....	25
1.3.3 Перспективи розвитку існуючих систем керування рухом поїздів	27
1.3.4 Особливості модернізації існуючих систем керування рухом поїздів.....	28
1.3.5 Вдосконалення процесу експлуатації існуючих релейних систем	29
1.4 Огляд процесу локалізації несправностей в системах електричної централізації.....	30
1.4.1 Методи пошуку відмов в пристроях систем автоматики.....	30
1.4.2 Методика побудови інформаційних діаграм пошуку відмов	32
1.4.3 Використання орієнтованих графів для пошуку відмов у станційних пристроях електричної централізації	34
1.4.4 Пошук причин відмов в постових пристроях ЕЦ	35
1.4.5 Система контролю стану постової апаратури в системі БМРЦ для прискорення пошуку відмови шляхом локалізації місця пошкодження	37

	8
1.4.6 Розробка способу пошуку несправностей	38
1.4.7 Система моніторингу та локалізації відмов в системах релейної централізації типу БМРЦ	39
1.4.8 Структурна схема підсистеми діагностування системи БМРЦ	40
1.4.9 Принцип роботи системи діагностування	41
1.5 Огляд пристроїв для автоматичного визначення стану реле в системах електричної централізації.....	42
1.6 Висновки до розділу	42
2 Розробка моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації	44
2.1 Огляд середовищ для моделювання роботи системи блочної маршрутно- релейної централізації.....	44
2.2 Опис сутностей та функціонування програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації.....	46
2.3 Інтерфейс програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації.....	48
2.4 Висновки до розділу	51
3 Визначення множини елементів системи електричної централізації на релейній елементній базі, які потребують контролю їх стану	52
3.1 Визначення доцільності включення певних елементів системи блочної маршрутно-релейної централізації до множини елементів, які потребують контролю їх стану.....	52
3.2 Результати моделювання блочної маршрутно-релейної централізації	59
3.3 Висновки до розділу	65
Висновки та рекомендації	67
Перелік посилань.....	69
Додаток А Статистична інформація щодо кількості відмов в системах залізничної автоматики за перші півріччя 2023/2024р.....	72
Додаток Б Головне вікно розробленої програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації.....	73
Додаток В Набір правил для системи нечіткого висновку	74

Додаток Г Дані, що отримані в результаті роботи системи нечіткого висновку	75
Додаток Д Діаграма класів програмної моделі системи БМРЦ	76
Додаток Е Схема розміщення датчиків в постовому обладнанні системи БМРЦ для дослідження	77

ВСТУП

Залізничний транспорт є важливим стратегічним сектором економіки України, що забезпечує стабільність та надійність перевезень великих обсягів вантажів і пасажирів. За період 2018-2019р, залізницями України [1] було перевезено загалом більше 635 тисяч тон вантажів, та 283 тисячі пасажирів. А в цілому, галузь забезпечує майже 82% вантажних і 36% пасажирських перевезень, що були здійснені всіма видами транспорту.

Системи керування рухом поїздів (СКРП), що використовується на залізницях України, в переважній більшості були введені в експлуатацію понад 30 років назад. Такі системи виконані на основі реле. Реле, що входять до складу таких систем, проходять періодичну перевірку в контрольно-випробувальний пункт. Використання СКРП, понад термін їх придатності, впливає на надійність цих систем. На частку відмов по причині старіння обладнання, та неправильної експлуатації, приходиться більше половини всіх відмов в СКРП. Одним із способів підвищення рівня безвідмовної роботи систем є переобладнання на сучасні мікропроцесорні системи. Це потребує відносно великих фінансових інвестицій. Ситуація з війною в Україні також негативно впливає на впровадження сучасних систем СКРП. Існують підстави припустити, що релейні системи будуть експлуатуватись впродовж тривалого часу.

Старіння релейних систем призводить до зростання інтенсивності відмов, що в певному обсязі збільшує впливу на безпеку руху поїздів (БРП) та зокрема час руху поїздів. Для виявлення та локалізації відмов потрібен високо кваліфікований працівник, та його присутність біля місця відмови. Це не завжди виконується.

В мікропроцесорних (МП) системах, значною мірою, реалізовано автоматичну локалізацію відмов, та діагностування.

Проте, станом на тепер проблема, що полягає у автоматизації процесу локалізації відмов, в релейних системах автоматики не знайшла свого повного вирішення. Що обґрунтовує її актуальність.

Серед способів вирішення питання – удосконалити процес локалізації несправностей в релейних системах автоматики. Це дозволить, зменшити час на виявлення несправності в системі, та її усунення. І, таким чином, напряду, або опосередковано, зменшити витрати ресурсу (час, безпосередні та непрямі втрати від затримки руху).

Мета роботи – удосконалити процес локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу шляхом використання систем нечіткого висновку.

Існують способи діагностування та локалізації відмов в таких системах. Одним із таких способів є «Підсистема діагностування системи БМРЦ». Система локалізує місце несправності системи БМРЦ, шляхом зчитування, та аналізу інформації від датчиків, що розташовані в визначених місцях схеми. При проектуванні системи, існує питання, щодо списку елементів схеми, що необхідно моніторити для можливості виявити відмови. Це питання, не вирішено в достатньому обсязі. В даній роботі пропонується вирішити це питання, шляхом використання систем нечіткого висновку. Для цього відтворено систему нечіткого висновку, та перевірено результати її роботи, на прикладі частини маршруту набірної групи станції, наданої в завданні.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Огляд традиційних систем керування рухом поїздів

Переважну більшість систем автоматичного керування рухом поїздів складають системи на релейній елементній базі. Такі системи використовуються на станціях і на перегонах. Системи автоматичного керування на основі реле були введені в експлуатацію із середини минулого сторіччя, та використовуються до цього часу.

1.1.1 Систем блокування на перегонах. Загальна характеристика

Перегінні системи блокування призначені для керування рухом поїздів на перегонах, та забезпечення безпеки руху. Безпека руху базується на дотриманні інтервалу між поїздами, величина якого має бути достатньою для гальмування до зупинки найбільш важковагового поїзда при його найбільшій швидкості руху та найгірших умовах для гальмування. На залізничному транспорті України знайшли застосування дві основні системи перегінного блокування: напівавтоматичне та автоматичне блокування (АБ) [2].

При напівавтоматичному блокуванні на перегоні може знаходитись тільки один поїзд, відправлення наступного можливе тільки за умови звільнення перегону від рухомих одиниць й прибуття поїзда на станцію у повному складі. Такий факт обмежує пропускну спроможність для перегону. Тому системи напівавтоматичного блокування хоча і є дуже простими у реалізації, але мають невелику пропускну спроможність. Цей недолік особливо проявляється на перегонах великої довжини зі значним часом руху поїзда між суміжними станціями. У зв'язку з цим, системи напівавтоматичного блокування знайшли застосування на ділянках з не значною інтенсивністю руху поїздів, де час зайнятого стану перегону не є критичним.

Системи АБ дозволяють значно підвищити пропускну спроможність перегону шляхом розділення його на кілька блок-ділянок. Кожна з блок-ділянок огорожується перегінним світлофором, який регулює рух поїздів та забезпечує

його безпечність. При автоблокуванні на кожній блок-ділянці може знаходитися поїзд, тобто якщо перегін розбито на шість блок-ділянок, то, очевидно, на перегоні між станціями одночасно може знаходитися шість поїздів.

В Україні використовуються системи із три та чотиризначним автоблокуванням. При тризначній системі використовується така сигналізація прохідного світлофора: червоний вогонь (на наступній блок-ділянці знаходиться поїзд); жовтий (наступна блок-ділянка вільна, а поїзд знаходиться через одну ділянку); зелений (вільними є не менш двох блок-ділянок).

При використанні чотиризначного автоблокування, сигналізація прохідного світлофора доповнюється ще одним показанням – жовтий з зеленим, що ввімкнені одночасно. Тобто червоний - на блок-ділянці поїзд; жовтий – вільна одна блок-ділянка; жовтий з зеленим – вільні дві блок-ділянки; зелений – вільними вважаються три і більше блок-ділянок. Ця система автоблокування найбільш ефективна на ділянках, де рухаються високошвидкісні поїзди. Машиніст має інформацію про стан більшої кількості блок-ділянок, що знаходяться попереду, і відповідно може своєчасно змінити швидкість руху.

Для визначення пропускнуої спроможності ділянки, обладнаної пристроями АБ, визначають мінімальний міжпоїзний інтервал попутного слідування. Його розраховують з урахуванням ділянок профілю колії, на яких рух поїздів відбувається з найменшою швидкістю. Такими ділянками можуть бути підйоми, виходи зі станції, де поїзд може мати зупинку, приміські ділянки – в районах зупиночних платформ. Мінімальний міжпоїзний інтервал обирають як найбільший з усіх інтервалів, отриманих на ділянці.

1.1.2 Станційні системи керування рухом поїздів. Загальна характеристика

Важливу роль у роботі залізничного транспорту відіграють станційні системи автоматики. Вони забезпечують формування та пропуск вантажних і пасажирських поїздів, виконують маневрову роботу тощо. Відповідно до вимог правил технічної експлуатації станції повинні забезпечувати приймання,

схрещування, обгін і відправлення поїздів, а також здійснювати маневрову роботу та технічні операції з поїздами. Виконання цих функцій покладається на технічні засоби керування стрілками і сигналами, які мають назву – пристрої централізації та блокування. Назва підкреслює їх основну мету – забезпечення взаємної залежності між положенням стрілок у маршруті та показанням світлофорів при керуванні ними з одного пункту. Необхідність такої залежності обумовлена двома факторами: вимогами безпеки руху і забезпеченням максимальної пропускнуої спроможності станції.

Виходячи з призначення пристроїв централізації та блокування на станції, згідно з ПТЕ [3], вони повинні відповідати нижченаведеним вимогам:

- вхідний світлофор не повинен відкриватися у маршруті на зайняту колію;
- вихідний світлофор не повинен відкриватися, якщо стрілки у маршруті не встановлені у відповідне положення, а світлофори ворожих маршрутів не закриті;
- унеможливлувати переведення стрілки під рухомим складом;
- унеможливлувати відкриття світлофора, якщо стрілки у маршруті не встановлені у відповідне положення, а світлофори ворожих маршрутів не закриті.

Таким чином, якщо світлофор відкрито, то стрілки, які належать до цього маршруту, перевести неможливо. І навпаки, при закритому положенні світлофора стрілки, які належать до ділянки, що огорожує цей сигнал, можуть бути переведеними.

Одним з основних елементів колійного обладнання систем залізничної автоматики є стрілочні електроприводи. Стрілочні електроприводи згідно з вимогами ПТЕ повинні:

- забезпечувати при крайніх положеннях стрілок щільне прилягання притиснутого гостряка до рамної рейки та рухомого осердя хрестовини до вусовика;

– не допускати замикання гостряків стрілки або рухомого осердя хрестовини при зазорі між притиснутим гостряком і рамною рейкою, або рухомим осердям та вусовиком 4 мм й більше;

– відводити другий гостряк від рамної рейки на відстань не менше 125 мм.

У разі нещільного прилягання притягнутого гостряка (4 мм і більше) при русі поїзда в протишерстному напрямку по стрілочному переводу з'являється можливість попадання гребеня колеса в зазор між гостряком і рейкою, внаслідок чого може статися схід з рейок рухомого складу.

Реалізація вказаних вимог забезпечує безпеку руху поїздів. Рух кожного поїзда на станції є завжди наперед визначеним: відомий його початок, кінець, положення стрілок і перелік ділянок, якими він буде проходити. У сукупності це називають маршрутом слідування поїзда.

1.1.3 Диспетчерська централізація. Загальний огляд

Рухом поїздів на ділянці залізниці повинен керувати тільки один працівник – поїзний диспетчер. Він відповідає за виконання графіка руху поїздів на дільниці, яку він обслуговує. Накази поїзного диспетчера (ДНЦ) підлягають безумовному виконанню працівниками, які безпосередньо пов'язані з рухом поїздів на цій дільниці. Забороняється давати оперативні накази з руху поїздів на дільниці без відома поїзного диспетчера [4]. Технічну можливість реалізації диспетчерського контролю та керування, зокрема, надають пристрої диспетчерської централізації. Диспетчерською централізацією (ДЦ) називається комплекс пристроїв, що включає у себе автоблокування на перегонах, електричну централізацію на станціях і апаратуру телеуправління стрілками та сигналами на станціях дільниці з одного диспетчерського пункту.

При реалізації управління об'єктами за допомогою систем ДЦ, на лінійних пунктах, контроль за їх станом здійснюється, зокрема, по двох лінійних проводах за допомогою кодових пристроїв. Крім того, поїздографом виконується автоматичний запис виконаного графіку руху поїздів.

Структура, типової системи ДЦ виглядає наступним чином. Центральний пост (ЦП) диспетчерської централізації розташований на дільничній станції і включає в себе пульт поїзного диспетчера і табло зі схемою дільниці, які з'єднані з кодовими пристроями передачі сигналів телеуправління ТУ і приймання сигналів телесигналізації ТС, а також поїздограф ПГ. ЦП, за допомогою каналу зв'язку КЗ з'єднаний з лінійними пунктами ЛП - проміжними станціями. Канал зв'язку використовують для передачі як сигналів ТУ, так і сигналів ТС.

При пошкодженні кодової лінії, існує можливість, за розпорядженням поїзного диспетчера, перевести станції на резервне управління лінійними станціям. Після передачі станцій на резервне управління, операції з приймання та відправлення поїздів, маневрову роботу здійснюють начальники станцій, або інші працівники станції, на яких покладено виконання цих операцій на даному роздільному пункті.

1.2 Огляд сучасних систем залізничної автоматики

Технічний прогрес та розвиток мікропроцесорної техніки дав поштовх для пошуку можливості використання цих технологій в системах залізничної автоматики, та розробки мікропроцесорних систем.

Такі системи мають ряд переваг, відносно систем, побудованих лише на релейній елементній базі. Розглянемо більш детально декілька із них.

1.2.1 Система мікропроцесорної централізації «Ebilock 950»

Система централізації «Ebilock 950» розроблена фахівцями шведської фірми АВВ Даймлер-Бенц Транспортейшн (Adtranz) для керування стрілками, світлофорами й іншими об'єктами на станції і перегонах [5].

На вимогу замовника поставляється кожен з трьох варіантів централізації Ebilock 750, 850 або 950. Варіант 750 передбачає використання релейних схем для управління напільним обладнанням, модифікація 850 має повністю безконтактну техніку, а 950 адаптована до різних схем управління напільним обладнанням: релейно-контактних і безконтактних. Централізація охоплює три

рівні управління: перший рівень включає робочі місця чергового по станції і технічного персоналу, другий рівень забезпечує перевірку логічних умов безпеки, а третій - підключення датчиків і виконавчих обладнань.

Встановлення маршрутів відбувається за допомогою клавіатури АРМ ДСП і контролюється на дисплеї. Ці команди обробляються в комп'ютері залежностей центральної обробної системи (ЦОС).

Основний комп'ютер збирає, обробляє інформацію і видає команди для управління об'єктами. Резервний комп'ютер працює в гарячому резерві: він обробляє інформацію, але не формує команд. Обидва комп'ютери безперервно обмінюються інформацією і при виході з ладу основного, перемикає на резервну, відбувається без затримки. Комп'ютери через шлейф зв'язку підключені до об'єктних контролерів, які розташовуються в модулях об'єктних контролерів (МОК). МОК встановлюються в горловині станції і через контролери підтримують інформаційний обмін з обома комп'ютерами і між собою. Кожна петля зв'язку об'єднує до 15 комп'ютерів. Обрив кабелю в одному місці не призводить до порушення зв'язку: кожен концентратор має по два напрямки і вихід з порядку одного не призводить до втрати працездатності системи. Центральний процесор «Ебілок 950» і система об'єктних контролерів є основною ланкою МПЦ. В системі МПЦ використовується напільне обладнання та релейна апаратура у т.ч. виробництва України.

До складу МПЦ входять: центральний процесор (ЦП), апаратура управління і контролю (2АРМ ДСП, АРМ ШН), обладнання електроживлення, об'єктні контролери, концентратори зв'язку на стативах ОК, пристосованих для встановлення зазначених обладнань, релейне обладнання; напільне обладнання СЦБ.

Управління МПЦ здійснюється з автоматизованого робочого місця чергового по станції (АРМ ДСП), створеного на базі промислової ЕОМ. Робота МПЦ контролюється по відображенню стану об'єктів на дисплеї АРМ ДСП, управління здійснюється черговим по станції з клавіатури АРМа.

Діагностика МПЦ і контроль технічних параметрів здійснюються з автоматизованого робочого місця електромеханіка (АРМ ШН). Цей же АРМ дозволяє аналізувати протокол дій чергового по станції і роботи МПЦ.

Центральна обробна система (ЦОС) складається з процесора «Ebilock950», що забезпечує логіку дії МПЦ та умови безпеки руху поїздів. Процесор Ebilock складається з двох комп'ютерів. Один комп'ютер постійно знаходиться в роботі, інший-в гарячому резерві. У разі виходу з порядку основного комп'ютера негайно включається резервний. Комп'ютери пов'язані через петлі зв'язку з концентраторами.

При перемиканні комп'ютерів відбувається автоматична комутація петель зв'язку. Головна мета ЦП полягає в обробці даних таким чином, щоб забезпечити виконання всіх взаємозалежностей безпечним чином. ЦП забезпечують трансформацію команд від системи управління.

Основні і резервні комп'ютери ЦП через модеми пов'язані з концентраторами зв'язку. Система зв'язку побудована таким чином, що при обриві кабелю в одному місці інформація продовжує надходити на кожен концентратор з різних місць. Система об'єктних контролерів є частиною системи МПЦ. Дана система здійснює взаємодію між комп'ютерною частиною централізації з релейними обладнанням і напільним обладнанням. Об'єктні контролери (ОК) діляться на наступні типи: сигнальний, стрілочної, релейний.

Об'єктні контролери системи «Ebilock 950» використовують вітчизняні рейкові кола, світлофори, електроприводи, реле і дають можливість здійснювати ув'язку з системами автоблокування, переїзної сигналізації, кодування рейкових кіл, САУТ, й іншими системами.

До складу АРМ ДСП і АРМ ШНа входять:

- промислові комп'ютери;
- 2 кольорових дисплея, клавіатури в промисловому виконанні;
- маніпулятори типу «миша», принтери, активні звукові системи.

Робота МПЦ контролюється по відображенню стану об'єктів на дисплеї АРМ ДСП. Управління здійснюється черговим по станції з клавіатури АРМ. Команди

ДСП, накази центрального комп'ютера, стан об'єктів, час і події автоматично реєструються в журналі подій і можуть бути роздруковані на принтері.

Діагностика МПЦ і контроль технічних параметрів здійснюються з автоматизованого робочого місця електромеханіка (АРМ ШН). Цей же АРМ дозволяє аналізувати протокол дій чергового по станції і роботи МПЦ.

До центрального блоку забезпечення безпеки системи Ebilock - 850 може бути підключений приблизно 300 приладів управління об'єктами. В системі початкового рівня Ebilock -950 можливе підключення до 100 приладів.

1.2.2 Система мікропроцесорної централізації МПЦ-У

Система мікропроцесорної централізації МПЦ-У [6] виробництва Северодонецького НВО "Імпульс" – комплекс технічних і програмних засобів, призначений для створення мікропроцесорних централізацій стрілок і сигналів залізничних станцій.

МПЦ як сучасна альтернатива експлуатуються на залізницях релейних систем електричних централізацій забезпечує істотне підвищення безпеки і надійності управління рухом поїздів на залізничних станціях з різним обсягом поїзної роботи, включаючи високошвидкісні ділянки.

Може застосовуватися для побудови МПЦ станцій з параметрами:

- кількість стрілок до 256 шт.;
- кількість світлофорів до 256 шт.;
- кількість рейкових кіл до 512 шт.

МПЦ-У не поступається за характеристиками жодному з відомих аналогів, а по ряду параметрів перевершує їх. Основні функції МПЦ-У:

- контроль і управління процесами прийому, відправлення, пропуску, обгону поїздів, маневрової роботи;
- забезпечення безпеки руху поїздів за маршрутами;
- відображення в реальному масштабі часу достовірної інформації про поїзному диспетчеру;
- положенні і стані пристроїв залізничної автоматики;

- контроль стану системи електроживлення;
- безперервне протоколювання дій експлуатаційного персоналу, архівування параметрів об'єкта управління і формування необхідних протоколів і звітів;
- встановлення маршруту без відкриття світлофора;
- індивідуальна витримка часу для кожного світлофора, що відкривається;
- індивідуальний відлік витримки часу для кожного маршруту, що скасовується, і розмикається секції;
- введення керуючих команд за допомогою маніпулятора "миша".

Серед особливостей МПЦ-У можна виділити наступні:

- високий рівень безпеки, який відповідає вимогам стандарту України ДСТУ 4178 і значно перевершує вимоги міжнародного стандарту ІЕС 62425 (рівень SIL 4);
- в МПЦ-У виключені релейно-контактні інтерфейси, всі логічні залежності між світлофорами, стрілками та секціями, дільницями шляху реалізуються програмно в трьохканальному керуючому контролері;
- забезпечено захист від комутаційних, грозових перенапруг і коротких замикань (грозозахист);
- простота розширення і зміни конфігурації МПЦ-у конкретної станції за рахунок модульної структури технічних засобів, програмного забезпечення і вдалої конструкції;
- забезпечено зв'язок МПЦ-у через шлюз із зовнішніми системами: диспетчерської централізації та контролю (ДЦ, ДК), автоблокування, управління переїзною сигналізацією, автоматизованими системами контролю вантажоперевезень;
- можливість контролю та управління прилеглими об'єктами (перегоном, переїздом та ін.);
- можливість модифікації програмного забезпечення без участі фахівців СНВО "імпульс" за допомогою сертифікованої САПР, що поставляється. При цьому забезпечується захист від несанкціонованого доступу, а також виконуються вимоги щодо забезпечення функціональної безпеки;

- реалізація апаратних засобів на найсучаснішій елементній базі, що сприяє скороченню експлуатаційних витрат і підвищенню надійності;
- простота технічного обслуговування завдяки автоматичному виявленню несправностей і їх усунення в найкоротші терміни;
- можливість використання існуючих рейкових кіл, сигналів і стрілочних електроприводів;
- до складу МПЦ-у входить система єдиного часу, що отримує сигнали точного часу від супутникових систем навігації;
- можливість централізованого та децентралізованого розміщення апаратури;
- можливість збільшення кількості одночасно працюючих АРМ ДСП, нарощування кількості модулів управління напільним обладнанням та розширення Функціональності МПЦ-У.

В даній системі, реалізований принцип одиничної відмови – поодинокі дефекти апаратних і програмних засобів не призводять до небезпечних відмов і виявляються при робочих або тестових впливах в реальному часі. Розрахункова інтенсивність небезпечних відмов (збоїв) однієї відповідальної функції МПЦ-У становить менше ніж 10^{-11} /год.

1.2.3 Система мікропроцесорної диспетчерської централізації МДЦ-У

МДЦ-У – комплекс технічних та програмних засобів, призначений для створення систем диспетчерських централізацій (ДЦ) [6], що забезпечують контроль та керування рухом поїздів на певній ділянці залізниці із центру управління перевезеннями. Розроблений Северодонецьким НВО "Імпульс", як і попередньо розглянута система.

Серед основних функцій системи, розробники виділяють наступні:

- контроль та управління процесами прийому, відправлення, пропуску, обгону поїздів на лінійних пунктах диспетчерської ділянки за командами поїзного диспетчера;

- відображення достовірної інформації про поїзну ситуацію на диспетчерській ділянці, стан пристроїв СЦБ та МДЦ-У на АРМах поїзних диспетчерів та інженерів СЦБ;
- ведення графіка виконаного руху (АРМ ГІД);
- автоматизація процесу управління відповідно до прогнозного графіка руху поїздів (функція «автодиспетчер»);
- передача лінійних пунктів на станційне (місцеве) керування;
- контроль систем електроживлення;
- протоколювання дій оперативного та обслуговуючого персоналу, архівування всієї отриманої інформації та формування необхідних протоколів та звітів.

1.2.4 Висновок до огляду систем керування рухом поїздів

Об'єми даної роботи не дозволяють в повному обсязі розглянути всі існуючі в експлуатації, або ті, що знаходяться в розробці, системи керування рухом поїздів (СКРП). Проаналізувавши вище розглянуті системи, виділимо такі пункти. Новітні мікропроцесорні системи, порівняно із системами на переважно релейній елементній базі, дозволяють розширити спектр покладених на них функцій, та прямо, або опосередковано досягти економічного ефекту від їх впровадження [7]. Зокрема, за допомогою впровадження функції діагностування та самодіагностування елементів.

Незважаючи на технічний розвиток, появу потужних мікропроцесорів, нейронних мереж, систем штучного інтелекту, та ін., релейні системи продовжують виконувати свої функції. Для впровадження мікропроцесорних систем необхідно значні інвестиції, та термін окупності все одно є значним [7].

Адже релейна техніка має певний строк експлуатації, який є істотно більшим від МП техніки за рахунок більш консервативних у питанні модернізації елементів системи (реле, трансмітери, дроселі та трансформатори, елементи керування стрілками, елементи рейкових кіл, апарати керування і т.ін.). Строк використання цих елементів, як “дрібних” складових цілісних релейних систем,

періодично подовжується за рахунок ремонту та регулювання параметрів складових релейних систем у РТД, за винятком елементів, що не відновлюються. Також здійснюється поточне планово-профілактичне обслуговування, регулювання, ремонт, заміна складових та елементів відповідно до графіка технологічного процесу ТО у складі експлуатованих релейних систем.

1.3 Аналіз ефективності систем автоматики на основі реле

Реле для систем залізничної автоматики розробляються, виготовляються та експлуатуються, з урахуванням спеціальних експлуатаційно-технічних вимог (ЕТВ) щодо забезпечення надійності. Ці вимоги розроблені та затверджені Управлінням сигналізації, зв'язку. В релейних системах залізничної автоматики, за показником надійності, поділяють реле на два типи - першого, і нижчого (другого) класу надійності.

Електромагнітні реле СЦБ першого класу надійності, згідно ЕТВ, повинні виключати небезпечні відмови. Для цього вони повинні відповідати таким основним вимогам:

1. Неможливість зварювання фронтних і загальних контактів при будь-яких умовах експлуатації. Для фронтних контактів застосовується вугілля з металевим наповненням, а для загальних контактів срібло або його сплави.

2. Якір повинен повертатися в початковий стан і замикати тиліві контакти при знятті напруги з обмоток або зменшенні його до величини напруги відпускання під дією сили тяжіння.

3. Можливість залипання якоря після виключення живлення повинна бути виключена. Для цього між якорем і сердечником завжди повинен бути залишковий повітряний зазор, що реалізується за допомогою антимагнітних бронзового штифта, укріпленого на якорі. У нормальнодіючих реле, висота штифта повинна бути не менше 0,2 мм, а у повільнодіючих реле - не менше 0,15 мм.

4. Всі тилові контакти реле повинні розмикатися при замиканні хоча б одного фронтового контакту і навпаки. Дана вимога виконується тільки в реле першого класу надійності типу РЕЛ.

ЕТВ до конструкції реле першого класу надійності включає наступне. Реле повинно мати конструкцію, що не вимагає додаткового схемного контролю відпускання якоря. Положення контактів повинне забезпечуватися механічним з'єднанням їх між собою і якорем. Штепсельні роз'єми реле повинні виключати можливість його помилкового включення. Корпус реле повинен виключати попадання всередину вологи, пилу і газів для усунення впливу зовнішнього середовища на роботу реле. Реле повинно стійко працювати при температурі навколишнього повітря від -40 до $+60^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 95%, вимірної при температурі $+200^{\circ}\text{C}$.

Всі реле, що не відповідають даним вимогам, відносять до більш низького класу надійності. Реле першого класу надійності використовуються, серед іншого, в схемах, що відповідають за безпеку руху. Завдяки своїй конструкції, вони суттєво знижують ризик неправильного спрацьовування, або неспрацьовування. Окрім цього, самі схеми систем залізничної автоматики (СЗА) розроблені таким чином, щоб, навіть, при неправильній роботі (несправності) одного елемента, не відбувалось подальшого розповсюдження відмови, та вся система переходила в більш “забороняючий” стан. Прикладом таких функцій систем є: “Перенос червоного вогню”, в системах трьохзначного числово-кодового автоматичного блокування; унеможливлення переводу стрілки при “втраті” контролю; блокування ділянки колії при пробіі ізолюючого стику. Реле другого класу надійності використовуються в усіх інших випадках. Також, порівняно з мікроелектронними компонентами електромагнітні реле менш вразливі до дії електромагнітних завад, що можуть бути створені тяговою мережею, блукаючими струмами, тощо.

1.3.1 Недоліки релейних систем

До основних недоліків релейних систем [8], на прикладі БМРЦ відносять такі як:

- значна складність розширення функціоналу через жорстку логіку роботи блоків;
- висока енергоємність схем;
- відносно висока складність обслуговування і ремонту через відсутність вбудованих засобів самодіагностики;
- відносно великі габарити систем;
- значно нижча швидкодія, порівняно із мікропроцесорними системами;
- значно нижча інформаційна та функціональна ємність, порівняно із мікропроцесорними системами.

Перерахованих вище недоліків дозволяє позбутись мікропроцесорна техніка, яка, за певними показниками більш ніж на порядок перевершує характеристики релейних схем (функціональність, гнучкість, швидкодія, економічність, термін служби та ін.).

1.3.2 Аналіз експлуатації існуючих систем керування рухом поїздів

Надійність релейних систем автоматики є їх суттєвою перевагою, що має значення при порівнянні із мікропроцесорними елементами. На надійність систем автоматики впливають такі фактори, як [9]: склад і кількість елементів (вузлів), які її утворюють, спосіб їх об'єднання в систему і характеристики кожного окремого елемента. Також, на надійність пристроїв залізничної автоматики впливає людський фактор: кваліфікація і дисциплінованість обслуговуючого персоналу (електромеханіки, електромонтери, старші електромеханіки, начальники дільниць) при дотриманні і виконанні графіку поточного ремонту елементів, дотримання правил експлуатації системи, тощо.

З метою підвищення якості під час обслуговування пристроїв залізничної автоматики, розроблено графіки технологічного обслуговування. До кожного

виду роботи складено технологічні карти, на основі яких електротехнічний персонал виконує свої обов'язки. Технологічні карти містять відомості про норми та допуски, тривалість і послідовність виконання робіт, перелік інструментів.

Будь-яка система має свій термін експлуатації, після якого не гарантується початкова надійність її роботи, незважаючи на показник надійності окремих елементів. Переважна більшість релейних систем, що використовуються на залізницях України, вже перебільшила свій граничний термін експлуатації, і визначається значним ступенем зношеності [10].

Таблиця 1. Зведені показники зносу пристроїв автоматики та телемеханіки на залізничному транспорті України

Система	Працює в межах нормативного терміну		Працює понад нормативний термін	
	кількість	%	кількість	%
Електрична централізація, стрілки	5233	17	26095	83
Автоблокування, км	2722,5	22	9522,7	78
Напівавтоматичне блокування, км	2543	37	4292	63
Диспетчерська централізація, км	1709,6	38	2819,1	62
Гіркові пристрої, стрілки	277	41	395	59
Гіркові пристрої, уповільнювачі	89	8	1063	92
Загалом, технічні одиниці	11453	35,4	20891	64,6

В таблиці 1 наведені зведені показники зносу пристроїв автоматики та телемеханіки. Із неї видно, що переважна кількість пристроїв працює понад нормативний термін експлуатації, а та частина, що залишилась, вже працює в межах нормативного терміну.

В додатку А, представлена інформація [11] щодо кількості відмов в системах залізничної автоматики за період перших півріччів 2023 та 2024р. Кожен рядок

таблиці розділений на дві частини. У верхній частині, бачимо дані, що відносяться до 2023 року, а в нижній частині – до 2024 року. Розглянувши таблицю, бачимо, що серед основних причин відмов пристроїв КРП є порушення технології виконання робіт з технічного обслуговування (28,96%) та фізичне старіння приладів (41,18%).

Кількість відмов пристроїв КРП напряму впливає на кількість затримок руху поїздів, не дивлячись на фактичні зменшення обсягу перевезень. Об'єктивно це свідчить про збільшення негативного впливу фактичного зносу технічних засобів на експлуатаційні показники діяльності залізниць [10]

Реле, що використовуються в системах, проходять періодичну перевірку на дефекти та технічне обслуговування в пунктах КІП, та повертаються до роботи. Додатковим суттєвим фактором, що має вплив на кількість відмов, є відсутність нових реле, а повторного використання старого фонду.

1.3.3 Перспективи розвитку існуючих систем керування рухом поїздів

Серед існуючих рішень вище описаних проблем, є впровадження нових систем залізничної автоматики. Серед них також є системи, до складу яких входять реле до відповідальних кіл, та системи, що не містять реле [12]. Приклади таких систем були приведені в попередньому розділі.

Новітні системи залізничної автоматики, на основі мікропроцесорів, потребують, порівняно, меншої кількості штату експлуатаційного персоналу. Це досягається завдяки розділення системи на функціональні “модулі”, що є типовими. Модуль це комірка, що відповідає за певний функціонал системи, та може бути швидко замінена. Таку дію може виконати спеціаліст, що володіє меншим рівнем кваліфікації, аніж спеціаліст з обслуговування релейних систем. В модулях сучасних систем залізничної автоматики реалізовано функціонал діагностики, що дозволяє виявляти несправність без участі спеціаліста, та інформувати про необхідність сервісного обслуговування системи. Таким чином досягається скорочення штату працівників.

Додатково виступає питання інтероперабельності. Україна все тісніше інтегрується із країнами ЄС. На залізницях Європейського Союзу використовують системи ETCS [13]. Це система стандартів для управління та взаємодії сигналізації для залізниць Європейського Союзу. Таким чином, перед країною може постати питання розробки принципово нових систем автоматики, що будуть відповідати директивам ЄС, а існуючі - вже будуть неадекватні до більш високого рівня систем ETCS.

1.3.4 Особливості модернізації існуючих систем керування рухом поїздів

Обладнання залізниць новітніми системами керування рухом поїздів вимагає значних витрат ресурсів (матеріальних, фінансових, людських, тощо). Окрім саме закупівлі новітніх систем, необхідно забезпечити їх виготовлення в необхідних обсягах, та забезпечення надійного та безперервного технічного обслуговування. Що є завадою, оскільки принцип роботи таких систем є інтелектуальною власністю приватних компаній, що їх випускають.

Додатковим фактором, що обмежує кількість інвестицій, серед іншого, в розвиток та впровадження систем залізничної автоматики, є війна на території нашої країни, що продовжується з 2022 року. Згідно зі звітом Міністерства Інфраструктури України тільки за 2022 рік [14], спостерігаються зменшення обсягів перевезень, та збитки в усіх транспортних галузях. Зокрема, для залізничного транспорту відбулось скорочення обсягів перевезень за 8 місяців 2022 року на 63 % у порівнянні з аналогічним періодом 2021 року (рисунок 1.1). Кількість знищених, пошкоджених та втрачених об'єктів залізничної інфраструктури становить 77 тис. одиниць. Вартість збитків складає понад 15 млрд. грн.

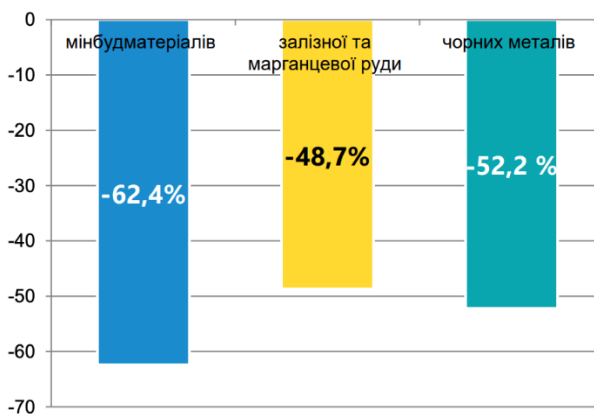


Рисунок 1.1 – Падіння обсягів перевезень вантажів за 2022 р.

Інвестиційні проекти для залізниць, згідно з тією ж статистикою, направлені, в основному, на відновлення пошкодженої та втраченої інфраструктури, і на встановлення або відновлення залізничного сполучення із західними країнами та портами. Зокрема, для доставки агропродукції до портів, та перевезення інших вантажів, що неможливо перевести морським шляхом [15].

Склавши ці фактори, приходимо до висновку, що СКРП на основі реле, будуть знаходитись в експлуатації ще протягом тривалого часу.

1.3.5 Вдосконалення процесу експлуатації існуючих релейних систем

Спеціаліст, що обслуговує релейну систему залізничної автоматики повинен володіти певним рівнем кваліфікації, та достатнім рівнем досвіду задля забезпечення безвідмовної роботи цієї системи, або оперативного усунення несправності. В сучасному світі, такі релейні системи не є “популярними” серед молоді. Також, військовий конфлікт на території України, призвів до скорочення штату працівників. Таким чином, кількість відповідних спеціалістів, скорочується, що призводить до не укомплектованості штату, а робоче навантаження на тих, що залишились - зростає. Це призводить до росту кількості відмов за причини порушення технології виконання робіт. Згідно із даними із таблиці 2, в порівнянні перших кварталів 2023 та 2024 років, цей показник виріс приблизно на 4 %. Зростає час на локалізацію та усунення відмов. Що в свою

чергу, призводить до простою поїздів і безпосередніх та опосередкованих фінансових втрат для всієї галузі.

Серед рішень проблем фінансових втрат, є зменшення часу на обслуговування релейних систем, що знаходяться в експлуатації, та “зменшення” вимог до рівня кваліфікації спеціаліста, що обслуговує такі системи. Забезпечити це можна, наприклад, шляхом впровадження системи локалізації несправностей. Як правило, мікропроцесорні системи підтримують таку функцію. На відміну від релейних систем, в яких зовсім не передбачено такого функціоналу. Проте, існують методи пошуку відмов і в пристроях СЦБ. Розглянемо більше детально ці методи.

1.4 Огляд процесу локалізації несправностей в системах електричної централізації

1.4.1 Методи пошуку відмов в пристроях систем автоматики

Тривалість відновлення пристроїв після відмови значною мірою визначається тим, як фіксується пошкодження. У пристроях СЦБ використовують два базових способи фіксації пошкодження після отримання інформації про відмову: безпосередньо в момент її виникнення (безперервний спосіб) та в момент завдання маршруту, переводу стрілок, розмикання маршруту тощо (спосіб квітірування). При безперервному способі пошук пошкодження можна починати одразу ж після його появи, що істотно підвищує імовірність встигнути відновити працездатність елемента до настання часу його використання. У разі застосування способу квітірування відновлення елемента неминуче зумовлює затримку в його нормальному функціонуванні. З метою скорочення кількості таких випадків запроваджують спеціальні схеми профілактичних перевірок і вимірів, узгоджені з графіком технологічного процесу [16].

З метою оперативного виявлення відмов у діючих пристроях СЦБ обслуговуючий персонал повинен глибоко розуміти принципи роботи пристроїв, знати послідовність функціонування всіх елементів, їхні призначення та функції,

а також місце встановлення апаратури. Окрім того, необхідні навички роботи з технічною документацією та вимірювальними приладами, а також чітке дотримання визначеної послідовності перевірок. Цей комплекс знань є ключовим для ефективного пошуку несправностей, проте він може виявитися недостатнім, аби мінімізувати час, витрачений на пошук несправності (часто він перевищує час, потрібний для заміни елемента).

Спеціально для обслуговуючого персоналу розроблено спеціальні методи діагностики, що дають змогу впорядкувати операції так, аби середній час пошуку відмови був мінімальним. Розрізняють такі основні методи: зовнішній огляд, спосіб заміни та спосіб вимірювань.

– Зовнішній огляд є найпростішим способом перевірки, проте завдяки ньому здебільшого не вдається виявити приховані відмови.

– Спосіб заміни передбачає вилучення елемента, вузла чи блока, у якому передбачається відмова, з його наступною заміною на справний елемент із резерву.

– Спосіб вимірювань вважається найефективнішим під час пошуку несправностей у постовій частині електричної централізації. Для цього персонал найчастіше використовує омметр та вольтметр. Щоб скоротити час пошуку, потрібно дотримуватися визначеного алгоритму перевірок.

– Метод послідовного перебору полягає в поступовій перевірці всіх вузлів або елементів, що входять до електричного кола. Застосовувати його доцільно лише за відсутності взаємозв'язків між елементами або при недостатній кваліфікації обслуговуючого персоналу. Також цей метод використовують, коли немає потрібних приладів для фіксації стану елементів.

– Метод «середньої точки» за кількістю елементів використовують для пошуку обриву в електричному колі: перший вимір виконують у середній частині кола, аби визначити, у якій половині відбувся обрив (здебільшого за допомогою вольтметра). Якщо обрив виявлено в першій половині, наступний вимір знову проводять у середині відповідного сегмента, і так далі.

– Метод «середньої точки» за ймовірністю відмови відрізняється тим, що коло ділиться навпіл не за кількістю елементів, а за сумою ймовірностей їх відмови. Цей метод є зручним у разі постової апаратури, адже кола живлення поста ЕЦ складаються з контактів із різною ймовірністю відмов (штепсельні розетки, пайка, контакти кодових реле та реле першого класу надійності). Недоліком цього та попереднього методів є те, що вони не враховують час, необхідний для проведення перевірок, який іноді може бути досить великим (наприклад, час переходу з горловини на станцію, час відкриття пульта із відповідним записом тощо).

– Інформаційний метод є найбільш універсальним, адже охоплює два попередні. Програма перевірок, побудована на його основі, має назву інформаційної діаграми і, на відміну від таблиць, у яких наведено лише ознаки відмов і можливі причини, містить і оптимальну послідовність перевірок. Завдяки цьому, пошук будь-якого пошкодження слід виконувати послідовно, а не одночасно у кількох місцях.

1.4.2 Методика побудови інформаційних діаграм пошуку відмов

Застосування автоматичних методів діагностування, дає змогу побудувати найбільш доцільну послідовність перевірок для виявлення будь-якої несправності з мінімальними затратами часу. Оптимальну або наближену до неї послідовність перевірок можна отримати, користуючись положеннями теорії інформації. При цьому враховують, що у системі, де сталася відмова, існує певна початкова невизначеність, обумовлена випадковим характером настання однієї з можливих відмов.

У процесі пошуку відмови кожна виконувана перевірка надає певну інформацію, кількість якої визначається зменшенням невизначеності (ентропії) системи. Якщо під час перевірки одного або кількох елементів виявляється, що хоча б один із них несправний, вважають, що перевірка дала позитивний результат; інакше її результат визнається негативним. Ймовірність позитивного результату P можна підрахувати заздалегідь, за умови, що відомі відносні

ймовірності відмов P_i та окремих елементів, і те що виникла лише одна відмова. Очевидно, у такому разі вірогідність позитивного результату дорівнюватиме сумі ймовірностей відмов тих елементів, які перевірка не охопила.

Згідно із теорією інформації, можна підрахувати спад ентропії в результаті однієї перевірки [17]:

$$\Delta H = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2(1 - P),$$

де P – ймовірність позитивного результату перевірки, підрахована вказаним способом.

Аналогічний розрахунок проводять і для всіх наступних перевірок. У підсумку може бути побудована схема пошуку або інформаційна діаграма пошуку несправностей, яка показуватиме найкоротші шляхи для виявлення будь-якої з відомих заздалегідь несправностей.

1. Процедуру формування оптимальної послідовності перевірок (інформаційної діаграми) можна поділити на такі етапи:

2. Визначення ймовірності позитивного результату кожної перевірки P та затрат часу T на кожну перевірку;

3. Обчислення показника ефективності перевірки за відповідною формулою та обрання перевірки з найбільшим значенням;

4. Визначення нових станів системи, що виникли внаслідок позитивного й негативного результатів перевірки;

5. Перерахунок відносної ймовірності відмови елементів, які залишилися неперевіреними, а також ймовірності позитивного результату кожної з решти перевірок з урахуванням результатів уже виконаних перевірок і витрат часу на ті, що залишаються;

6. Повторення процедури доти, доки послідовність не буде остаточно визначена.

Зазначена послідовність дій є досить складною й передбачає наявність статистичних даних щодо відмов кожного елемента ЕЦ.

1.4.3 Використання орієнтованих графів для пошуку відмов у станційних пристроях електричної централізації

Під час побудови інформаційних діаграм пошуку несправностей виникає потреба у великій кількості обчислень і використанні статистичних даних щодо виникнення відмов. При цьому складність полягає в тому, що офіційна статистика відмов може суттєво відрізнятися від реальної, оскільки на одному посту ЕЦ, де обладнання експлуатується вже досить тривалий час, вірогідність виникнення відмов може бути зовсім іншою, ніж на іншому посту. З огляду на це пропонується, щоб електромеханік створював схеми пошуку відмов у постовій частині ЕЦ, спираючись на власний досвід обслуговуючого персоналу, у формі орієнтованих графів [18].

Орієнтований граф (або орограф) G , який позначають через $G(V, E)$, складається з множини V вершин і множини E впорядкованих пар елементів із V , що утворюють множину орієнтованих ребер (або просто ребер, якщо зрозуміло, що йдеться про орієнтований граф). Кожен елемент множини називається орієнтованим ребром E . Якщо $(a, b) \in E$, тоді a називають початковою вершиною ребра (a, b) , а b — кінцевою вершиною.

Зазначимо, що поняття орієнтованого графа передбачає можливість існування петель, чого не було у простих графах. Для цього є переважно дві причини. По-перше, визначення орієнтованого ребра природно охоплює й петлю, адже петля у вершини a трактується як ребро (a, a) . У разі ж неорієнтованих графів це неможливо, бо ребро неорієнтованого графа має вигляд $\{a, b\}$, тож петля мусила б мати вигляд $\{a, a\}$. По-друге, коли йдеться про відношення, елемент може перебувати у відношенні сам із собою, що не має сенсу для множин, бо будь-який елемент у множині існує лише один раз. Крім того, сам термін «петля» більшою мірою притаманний саме орієнтованим графам.

Орієнтоване ребро (a, b) у діаграмі орієнтованого графа позначають стрілкою від a до b . Звернімо увагу, що в простому графі ребро зображують як

двоелементну підмножину, щоб засвідчити симетричність відношення, а в орієнтованому графі ребро подається у вигляді впорядкованої пари для наголосу на важливості порядку. Тобто (a, b) може бути орієнтованим ребром, а (b, a) — уже ні. Якщо $(a, b) \in E$ є ребром орієнтованого графа $G(V, E)$, при цьому a — початкова вершина, а b — кінцева вершина (a, b) , тоді вершини a й b вважаються інцидентними до ребра (a, b) . Вершина a називається суміжною до вершини b , а вершина b вважається суміжною від вершини a . Мірою виходу вершини v називається кількість ребер, для яких v є початковою вершиною, позначається $\text{outdeg}(v)$. Мірою входу вершини v називається кількість ребер, для яких v є кінцевою вершиною, позначається $\text{indeg}(v)$. Якщо $\text{indeg}(v) = 0$, таку вершину називають джерелом, а якщо $\text{outdeg}(v) = 0$ — стоком.

Зауважмо, що хоча визначення орієнтованого графа дозволяє наявність петель, до цього моменту не розглядалася ситуація, коли між двома вершинами і може існувати більше одного ребра. Орієнтований граф із кількома ребрами від однієї вершини до іншої називають мультиграфом або, точніше, орієнтованим мультиграфом. Якщо кожне ребро позначене, тоді йдеться про розмічений орієнтований граф (або просто розмічений граф), маючи на увазі, що граф є орієнтованим.

1.4.4 Пошук причин відмов в постових пристроях ЕЦ

Основним видом централізації на великих і середніх станціях є блочна маршрутно-релейна централізація (БМРЦ) [18]. У процесі розроблення оптимальних програм пошуку несправностей (орієнтованих дерев) потрібно враховувати черговість роботи реле, імовірність окремих відмов і тривалість виконання певних перевірок. У постових пристроях БМРЦ найбільше відмов виникає через перегорання запобіжників. Якщо сигналізація перегорання працює справно, пошкоджений запобіжник швидко виявляється. Складніша ситуація виникає, коли сигналізація не спрацьовує: за відсутності додаткової схеми контролю пошук такого запобіжника доводиться здійснювати за показами індикаторів на табло.

Інша поширена причина відмов у постових пристроях — втрата контакту у штепсельному роз'ємі блоку. Зазвичай, щоб відновити контакт, досить злегка посунути роз'єм, але для запобігання повторному ушкодженню слід ретельно перевірити контакти роз'єму та взаємне розташування гніздової і ножової колодок. Обрив кола може траплятися також у контакті кодового реле в набірному блоці (за умови неправильної регулювання реле) чи в контакті кнопки на пульті. Такі несправності зазвичай виявляються лише за допомогою вольтметра, причому вимірювання ведуть від одного з полюсів живлення (найчастіше обирають СМБ, оскільки він не має індивідуальних запобіжників). Під час вибору послідовності таких вимірювань доцільно застосовувати метод «середньої точки» та враховувати зручність доступу до місця вимірювання (наприклад, спочатку вимірюють там, де не потрібно знімати кожухи чи використовувати драбину).

Одним із важливих вузлів постової апаратури БМРЦ є стабілітронний блок, де найчастіше виходить з ладу безпосередньо стабілітрон. Порухення у роботі постових пристроїв БМРЦ можуть також бути спричинені падінням напруги контрольної батареї. Особливо чутливі до цього схеми автоматичних кнопкових реле АКН і керувальних стрілочних реле ПУ та МУ. На деяких постах БМРЦ трапляється, що довгі маршрути перестають набиратися вже при зниженні напруги нижче 25–27 В, тоді як короткі маршрути (складені з двох-трьох елементарних) встановлюються нормально. Це зазвичай вказує саме на недостатню напругу контрольної батареї.

Пошкодження в колах увімкнення сигналів найчастіше пов'язані з перегоранням запобіжників або ламп світлофорів. На практиці траплялися й випадки пробою діодів у вогневих реле, коли встановлювали сигнальні запобіжники 0,5 А замість 0,3 А.

Відмови в пристроях БМРЦ можна класифікувати за їхнім проявом: на ті, що виникають під час встановлення або розмикання маршруту, а також на ті, що трапляються під час використання аварійних дій (штучне розмикання, запрошувальний сигнал тощо).

1.4.5 Система контролю стану постової апаратури в системі БМРЦ для прискорення пошуку відмови шляхом локалізації місця пошкодження

Система БМРЦ містить чотири кола міжблочних з'єднань набірної групи та вісім кіл виконавчої групи, кожне з яких проектується з урахуванням колійного розвитку станції та таблиці маршрутів. Для звуження зони пошуку несправностей передбачається використати підсистему контролю, що перевіряє правильність спрацьовування кожного з міжблочних кіл за спеціально розробленим алгоритмом. Якщо з'ясується, що в якомусь колі не відбулося замикання, далі аналізується, які контакти реле в цьому колі на цей момент повинні бути замкненими чи розімкненими, та чи відповідає ситуація реальному стану. У системах електричної централізації неблокового типу для визначення стану контактів використовують контроль замикання та розмикання вільних контактних груп певних реле й їхніх повторювачів. Проте під час розроблення такої підсистеми контролю для БМРЦ постає складність: усі реле розташовані в зачинених блоках, тож безпосередній контроль за ними неможливий.

Якщо несправність локалізовано на апаратуру одного блоку, заміну відповідного елемента може виконати будь-який працівник дистанції сигналізації та зв'язку, що перебуває на посту, суттєво скорочуючи тривалість відмови. Якщо ж обслуговуючий персонал на посту відсутній, час пошуку несправності все одно зменшується, адже система вже вказує на конкретне місце пошкодження, коли прибуває електромеханік.

Через складність під'єднання та неможливість прямого доступу до інформації про стан кожного елемента системи передбачається під'єднання до монтажних штепсельних розеток (наприклад, за допомогою датчиків). Це дасть змогу перевірити правильність замикання потрібних контактів у кожному з блоків набірної та виконавчої груп. Зрештою, такий метод діагностики блоків суттєво зменшує тривалість пошуку несправності, звівши його лише до перевірки трьох-чотирьох блоків задіяного маршруту, що в середньому скорочує час пошуку майже втричі.

Водночас, постає питання раціонального розміщення датчиків, які моніторять стан елементів електричних кіл. В даній роботі для вирішення вказаного питання пропонується застосувати систему нечіткого висновку.

1.4.6 Розробка способу пошуку несправностей

Будь-яка задача діагностування розв'язується через виконання процедури, що ґрунтується на способі діагностики. Такий спосіб описує послідовність перевірок та правила обробки їхніх результатів, аби отримати узагальнений висновок щодо стану системи. Розрізняють способи перевірки справності, працездатності та пошуку несправності. У нашому випадку розглядається спосіб пошуку несправності.

Для перевірки кіл у блоках використовується цифровий вольтметр. Якщо в блоці всі реле та їх контакти перебувають у належному положенні, то прилад (вольтметр) не фіксує падіння напруги. Якщо ж контакти розімкнені або спрацювали некоректно, то на приладі відображається падіння напруги відносно мінуса живлення.

У такий спосіб можна виявити одноразову помилку в схемі й визначити несправний блок або групу блоків (якщо перевірка велася не на основному маршруті). Хоча дворазові помилки малоімовірні, їх також можна знайти. Якщо у тому самому колі в двох блоках не спрацювало по одному реле, то під час вимірювання буде зафіксовано лише половину очікуваного падіння напруги. Це свідчить про ще одну несправність, тож пошук триває. Коли буде визначено другий блок із падінням напруги на половину від очікуваного, система обробить отримані дані й виведе на панель індикації назви блоків, у яких найбільш імовірно міститься відмова. Завдяки цьому персонал може відразу зосередитися на перевірці конкретних блоків і суттєво скоротити час, необхідний на пошук і усунення несправності.

Якщо виявлено одноразову помилку в схемі, на панель індикації виводиться назва несправного блоку. Це дозволяє будь-якому працівникові дистанції сигналізації та зв'язку, за наявності на посту, швидко замінити блок на справний

і відновити нормальну роботу станції без очікування приїзду висококваліфікованого фахівця.

Таким чином, обслуговуючий персонал дістає інформацію про характер та можливе розташування несправності. Зрештою, пошук несправності зводиться до перевірки лише декількох блоків.

1.4.7 Система моніторингу та локалізації відмов в системах релейної централізації типу БМРЦ

В роботі [19] пропонується вирішення питання пошуку несправності в системі релейної централізації (РЦ), а саме на прикладі БМРЦ, шляхом використання автоматичної системи моніторингу та діагностики (АСМД). Для досягнення цієї мети, пропонується обладнати елементи системи датчиками. Підмножина вхідних сигналів цієї системи складається із сигналів від цих датчиків, що вимірюють стан елементів БМРЦ. Велика кількість елементів, та обмеження щодо ресурсів для встановлення системи моніторингу та діагностики, роблять практично неможливим обладнання всіх елементів системи БМРЦ відповідними датчиками. Метою цього дослідження є визначення набору елементів у частині БМРЦ, розташованій у релейному приміщенні станції, які необхідно обладнати відповідними датчиками для використання в системі моніторингу та діагностики, враховуючи обмеження щодо ресурсів для її встановлення.

У дослідженні даної магістерської роботи, пропонується застосувати систему нечіткого висновку для оцінювання доцільності включення окремих елементів у частині БМРЦ, розташованій в релейному приміщенні, до набору елементів під моніторингом, який формується одним експертом (система нечіткого висновку Мамдані). Результати дослідження дозволяють надати рекомендації щодо процесу відбору елементів у релейному приміщенні БМРЦ, для обладнання датчиками, враховуючи обмеження на ресурси для встановлення системи моніторингу та локалізації відмов. Детальна розробка цієї системи не входить до задач цього дослідження. Подальші дослідження необхідні для економічного

обґрунтування функціонування системи моніторингу та локалізації відмов на основі набору датчиків.

Коротко розглянемо структуру та принцип роботи підсистеми діагностування системи БМРЦ, до складу якої входить система локалізації несправностей.

1.4.8 Структурна схема підсистеми діагностування системи БМРЦ

Структурна схема системи (рисунок 1.2) охоплює такі основні компоненти:

1. Мультиплексиори – забезпечують почергове підключення блоків набірної групи до компараторів.

2. Компаратори – при фіксації падіння напруги, що перевищує рівень опорної напруги, формують на виході логічну одиницю. Це дозволяє виконати перетворення аналогового сигналу в цифровий.

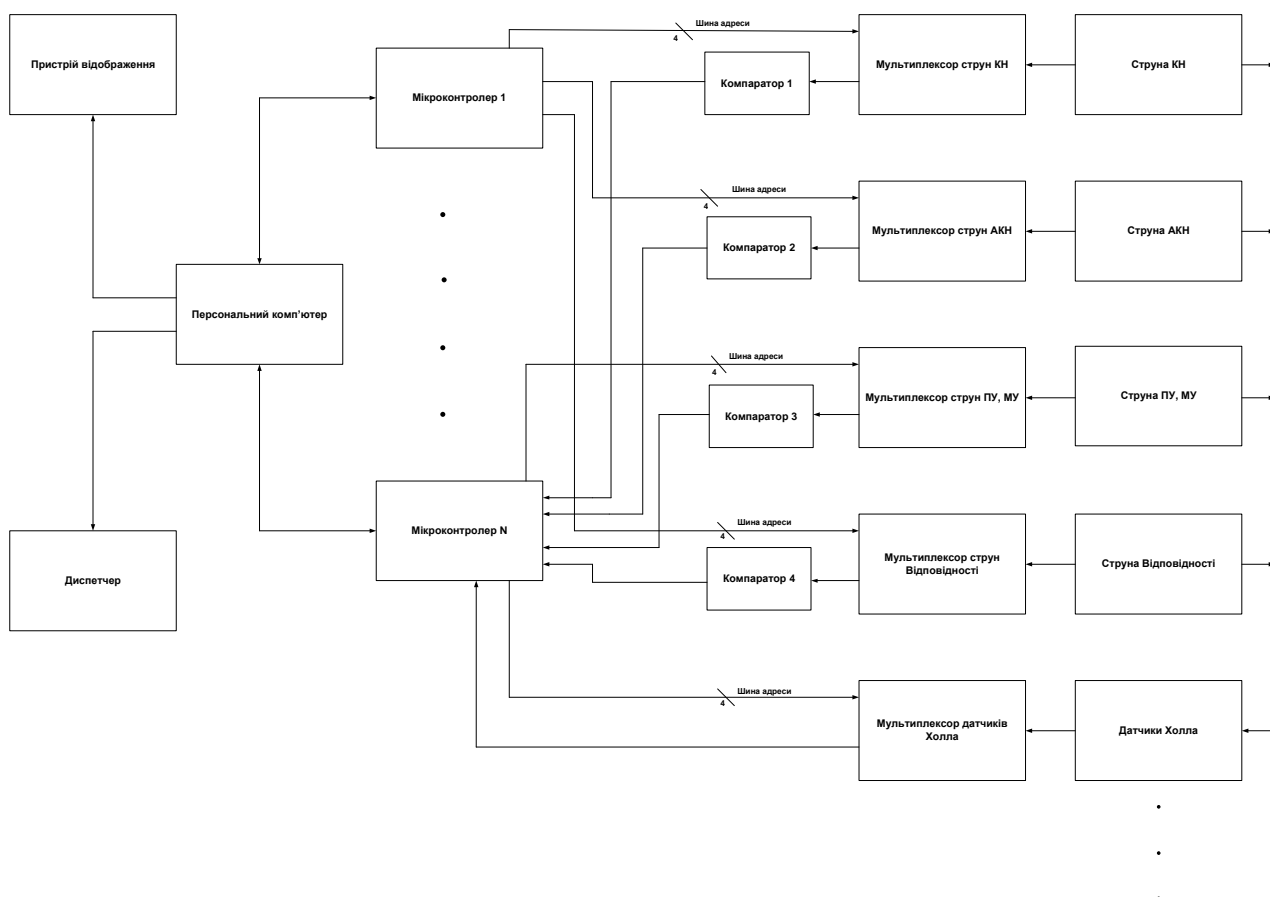


Рисунок 1.2 Структурна схема підсистеми діагностування системи БМРЦ

3. Мікроконтролери – зчитують сигнали з компараторів, формують адресу для кожного мультиплексора і передають отримані дані на персональний комп'ютер для подальшої обробки.

4. Персональний комп'ютер – обробляє інформацію від мікроконтролерів, надсилає результати обробки на пристрій відображення та диспетчеру.

5. Пристрій відображення – відображає інформацію щодо несправностей у зручному для обслуговуючого персоналу форматі.

1.4.9 Принцип роботи системи діагностування

На початковому етапі система діагностування перебуває у вимкненому стані, а дані знімаються лише з датчиків Холла, встановлених на вибраному маршруті. Завдяки безконтактному зняттю показників можна дізнатися про стан системи автоматики без втручання в її роботу. Коли один із датчиків фіксує зміну рівня сигналу, на його виході з'являється напруга, що, пройшовши через мультиплексор і компаратор, перетворюється на логічну одиницю. Мікроконтролер передає цю інформацію на персональний комп'ютер, який, своєю чергою, запускає алгоритм пошуку несправності.

Потім персональний комп'ютер, проаналізувавши отримані відомості, запускає систему пошуку несправності, починаючи зчитування напруги з блоків БМРЦ. Кожен блок по чергово підключається до компаратора через мультиплексор, а компаратор порівнює сигнал із опорною напругою. Якщо електричне коло у блоці справне, на виході компаратора формується логічна одиниця; у разі несправності – логічний нуль.

Інформація надходить на персональний комп'ютер, де обробляється і передається на пристрій відображення, щоб персонал отримав її в зручному вигляді та оперативно відреагував, а також надсилається диспетчеру для реєстрації.

1.5 Огляд пристроїв для автоматичного визначення стану реле в системах електричної централізації

З метою визначення стану реле, в системах електричної централізації, зокрема використовують цифровий вольтметр, або датчик Холла.

При використанні цифрового вольтметра, його необхідно підключати безпосередньо до схеми. Серед переваг такого підходу, є можливість постійного моніторингу рівня напруги в колі, та можливість відносно точно вимірювати рівень напруги. При використанні датчика Холла, його не потрібно безпосередньо підключати до електричної схеми. Такий підхід дозволяє уникнути впливу пристрою визначення стану реле, на електричне коло, та на роботу системи в цілому. А серед основних недоліків – неможливість постійного моніторингу напруги в колі. Фіксується лише зміна рівня напруги в цьому колі.

Система, що розглядається, використовує, зокрема датчики Холла для автоматичного зчитування станів елементів кола.

1.6 Висновки до розділу

Серед розглянутих СКРП значну частину складають СКРП на основі реле. Релейні системи мають ряд недоліків, які, зокрема, впливають на ефективність їх експлуатації. Підвищити ефективність можна, серед іншого, шляхом заміни релейних систем на сучасні мікропроцесорні. Через ряд факторів, описаних в попередніх розділах, переобладнання не може відбутись за відносно короткий проміжок часу. Тому підвищення експлуатаційних характеристик релейних систем керування рухом поїздів є актуальною задачею.

Одним із способів підвищення експлуатаційних характеристик релейних систем, зокрема, системи БМРЦ, є її обладнання системою локалізації відмов. Це дозволяє зменшити час для експлуатаційного персоналу, на пошук відмови, і, в свою чергу вплинути на час простою поїздів. Згідно з [10] час простою поїздів, є відносно важливим показником економічної ефективності роботи галузі.

Зокрема, за рахунок зменшення часу на виявлення відмов, система дозволяє зменшити навантаження на штат високо кваліфікованих працівників.

Для проектування та монтажу системи локалізації, необхідно розрахувати кількість датчиків, якими буде обладнана система БМРЦ. Від кількості датчиків, залежить кількість відмов, які зможе виявити система локалізації відмов. Також, кількість датчиків є однією із складових вартості всієї системи. В результаті аналітичного огляду літератури не було виявлено детального опису застосування систем нечіткого висновку для вдосконалення процесу локалізації відмов. Таким чином, задача визначення місць розташування датчиків, і їх кількості, є актуальною.

Метою даної роботи є удосконалення процесу локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу з використанням систем нечіткого висновку.

Задачами роботи є:

– Провести аналітичний огляд застосування систем електричної централізації, у т.ч. на релейній елементній базі (ЕЦР), на залізницях України, процесу локалізації несправностей в системі ЕЦР (у т.ч. з використанням систем нечіткого висновку).

– Виконати огляд пристроїв для автоматичного визначення стану реле в системі ЕЦР та способів визначення місць їх встановлення в системі ЕЦР.

– Провести огляд середовищ для моделювання роботи системи ЕЦР.

Об'єкт дослідження – процес локалізації несправностей в системі блочної маршрутно-релейної централізації.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ БЛОЧНОЇ МАРШРУТНО-РЕЛЕЙНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

2.1 Огляд середовищ для моделювання роботи системи блочної маршрутної релейної централізації

Для перевірки рішення запропонованого у роботі [19], автором запропоновано розробити модель фрагменту системи електричної централізації з можливістю моделювання її роботи та внесення несправностей.

Існують різні середовища для моделювання роботи електричних схем, включаючи моделювання релейних систем. Серед них: MATLAB, GNU Octave, Electronics Workbench, OrCAD. Вони містять бібліотеки з моделями реле, окремих реальних пристроїв, які, як правило, не відповідають тим, що використовуються в системах БМРЦ. Схеми системи БМРЦ зображуються як з'єднання котушок реле і контактів реле. Тому додатковим недоліком є те, що реалізація схем у згаданих середовищах в аналогічній реалізації вимагає штучного ускладнення схеми. Для досягнення мети достатньо працювати на рівні абстракції, що оперує бінарними станами елементів системи БМРЦ. Тому, при моделюванні системи БМРЦ, із використанням бібліотек елементів у згаданих середовищах необхідно виконувати занадто детальні налаштування елементів. З огляду на описані причини, автор вирішив реалізувати модель системи БМРЦ програмно, використовуючи об'єктно-орієнтоване програмування (ООП) та принципи програмування СОЛІД (SOLID - . А виходячи із широких можливостей сучасних мов програмування та значних обчислювальних потужностей персональних комп'ютерів, та особливості даної роботи, автором було сформовано перелік вимог, яким повинна відповідати модель.

Вимоги, яким повинна відповідати програмна модель, наступні:

1. Імітація проходження електричного струму послідовно по обмотках і контактам реле від плюсу відповідного полюса до мінуса.

2. Реалізація таких особливостей контактів реле, як часові параметри. В даному випадку затримка на спрацювання та відпускання, що є вагомою особливістю роботи залізничних схем автоматики.

3. Можливість імітації несправностей в системі.

4. Програмна архітектура моделі повинна бути реалізована таким чином, щоб дозволяти подальше розширення її функціоналу або модифікації існуючих компонентів.

5. Реалізовувати інтерфейс для вводу даних та виводу результатів включаючи можливість багатократного спрацювання на основі великої кількості вхідних даних.

Проаналізувавши умови технічного завдання та особливості реалізації було виведено такі критерії для мови та середовища програмування:

1. Мова програмування, компілятор та середовище повинні знаходитись у вільному доступі, або бути доступними для наукових робіт.

2. Мова програмування повинна підтримувати багатопоточні операції, так як в даному проекті було вирішено реалізовувати особливість часових параметрів реле на базі багатопоточності.

3. Мова програмування повинна бути поширена для того щоб бути зрозумілою для людей, які займаються її вдосконаленням.

4. Мова програмування повинна бути об'єктно-орієнтованою для забезпечення можливості розширення функціоналу та повторного використання існуючого функціоналу.

5. Реалізована програмна модель повинна мати змогу бути запущеною на сучасних комп'ютерах.

Основними мовами програмування які були розглянуті є: C++, Python, C# та Java. Проаналізувавши особливості представлених мов програмування було вирішено створювати реалізацію на мові C# в середовищі .NET.

Ця мова програмування є об'єктно-орієнтованою. Для неї створено велику кількість бібліотек, що дозволяють спростити написання моделі. Середовище, компілятор, та сама мова, знаходяться у відкритому доступі. Ця мова

програмування входить до програми підготовки автора під час здобуття вищої освіти.

До недоліків можна віднести практичну неможливість створення пристрою на мікропроцесорі, який би реалізовував функціонал даної моделі для її подальшого використання у технічних засобах діагностики. А також необхідність перекомпіляції моделі для запуску на різних операційних системах наприклад Linux та Mac OS.

2.2 Опис сутностей та функціонування програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації

Відповідно до ООП, у цій роботі була створена ієрархія типів (додаток Д), що представляють реле та інші сутності, що дозволяє представити модель системи БМРЦ на рівні абстракції, достатньому для досягнення мети цієї роботи [20].

Реалізовані в програмі сутності:

- класи: «Реле», «Електрична схема», «Кнопка» (перемикач), «Джерело живлення», «Схема», «Середовище»
- інтерфейси: «Контакт» (iContact), «Обмотка реле» (iCoil), «Елемент електричного кола» (ICircuitElement).

Клас «Реле», серед усього іншого, містить унікальний ідентифікатор, що означає ім'я блоку, в якому знаходиться це реле. А також ім'я самого реле. Функції класу дозволяють реалізувати роботу якоря реле з урахуванням певних його властивостей (зокрема, час затримки), а також імітувати несправності для перевірки роботи «Системи Виявлення Несправностей».

Котушки і контакти реле об'єднані в класі «Електричне коло». Клас «Середовище» реалізує функції, які імітують протікання електричного струму по елементам схеми. Цей функціонал реалізовано за допомогою рекурсивної функції.

Ця функція ідентифікує замкнуті електричні кола, та визначає набір контактів, та обмоток реле, що входять до нього. Після визначення такого набору даних, функція створює об'єкт класу «Електричне коло» (ініціювавши його

знайденим набором елементів), та додає його до масиву, що містить «активні» електричні кола. Цей масив є динамічним. Також створюється подія “встановлення під струм”, що передається всім елементам кола. Об’єкт «Електричне коло» буде видалений із масиву “активних” кіл, коли рекурсивна функція не ідентифікує коло, як існуюче. При цьому всім елементам, що входили до кола, передається нова подія “знеструмлення”.

Рекурсивна функція, в свою чергу, створена, спираючись на два принципи електротехнічних умов існування електричного кола (посилання на літературу). Перша умова - перевірка наявності джерела живлення в колі. Друга, на якій і базується рекурсія - замкнуте електричне коло. Функція запускає рекурсію з позитивного полюсу, запускаючи саму себе “в напрямку” наступного елемента, у випадку, якщо контакт замкнений. Паралельно записуючи пройдені елементи до масиву. Рекурсія переривається у випадку “натрапляння” на розімкнутий контакт, або успішно завершується, дійшовши до негативного полюса джерела струму, із якого вона розпочалась. Програмно було оброблено розгалуження електричних кіл. Рекурсивна функція видаляє із масиву “пройдених” елементів, ті, що “опинились” в розімкненій гілці розгалуження.

Знайдене активне електричне коло гарантовано існує до моменту комутації в схемі. Нова комутація в схемі, створює “подію”, на яку підписаний об’єкт класу “Середовище”. Цей клас обробляє подію комутації, запустивши рекурсивну функцію, та, таким чином, оновивши набір активних електричних кіл, та елементів, що входять до них.

Таким чином, маючи набір електричних елементів, що знаходяться під струмом, та реалізуючи відповідні функції, модель має можливість фіксувати цю інформацію, для будь-якого моменту часу, та стану схеми. Така можливість може бути використана в подальшому, при створенні інтерфейсу користувача, або виводу даних до “Системи локалізації несправностей”.

Часові характеристики затримки якоря реле на спрацьовування або на відпускання, реалізовано, використовуючи таку особливість мови програмування, як багатопоточність.

Після програмної активації класу "Кнопка" генерується подія. Ця подія запускає перевірку відповідних «Електричних кіл» і оновлення станів елементів, які вони містять. Після оновлення стану «Реле» генерується подія, яка повідомляє відповідні «Електричні схеми» та «Оточення». Клас «Середовище» за допомогою рекурсивного алгоритму визначає множину елементів, що входять до замкнутого електричного кола, і передає цю множину в «Електричну схему», яка забезпечує комутацію відповідних елементів. Цей процес триває до тих пір, поки не буде встановлено остаточний стан моделі системи БМРЦ.

Розробка програмного засобу виконана на платформі .NET 8 з мовою програмування C# для середовища операційної системи Windows.

2.3 Інтерфейс програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації

Програмна модель, описана в попередніх розділах, використовується як емулятор роботи системи БМРЦ для реалізації завдання даної роботи. Для цього, модель необхідно ініціювати, передавши до неї набір даних, котрий відповідає принциповій схемі системи, або її частини. Інформація щодо реле вноситься програмно, використовуючи функції відповідних класів моделі. Також, програмно “створюються” зв'язки між обмотками реле, їх контактами, та полюсами живлення. Додатково задаються “пошкодження”, та розташування діагностичних датчиків.

З метою спрощення процесу створення та редагування програмної схеми моделі емулятора, а також - для наглядності роботи системи в реальному часі, було створено графічний інтерфейс. Для створення інтерфейсу використовувалось те ж саме програмне середовище, та бібліотека WPF (Windows Presentation Foundation), що на даний момент є однією із розповсюджених бібліотек для реалізації інтерфейсів для Windows Desktop [21].

WPF дає можливість створювати графічні інтерфейси, використовуючи мову програмування C#, XML конфігурацію структури інтерфейсу, та середовище .NET для роботи.

Серед основних реалізованих функції інтерфейсу є:

- відображення елементів схеми, та їх зв'язків, наближене до їх зображення в принципових схемах;
- функція “зберігання” та “завантаження” створених моделей схем;
- режими “редагування” та “емуляція”.
- графічне створення елементів, та зв'язків між ними;
- можливість редагування попередньо створених схем;
- зміна кольору елемента схеми, в залежності від його стану.
- можливість імітувати порядок дій оператора (зокрема чергового по станції).

На програмному рівні, інтерфейс складається з декількох основних частин.

Scheme Element (елемент схеми). Структурний елемент. Являє собою клас “контейнер”, що містить графічне схематичне зображення елемента електричної схеми, його назву, координати на інтерфейсі та ідентифікатор відповідного елемента моделі емулятора. Також містить функції, що змінюють графічне відображення відповідно до стану елемента в емуляторі.

Generator (генератор). Функціональна частина, яка використовується для створення елементів схеми із заданими параметрами. Генератор містить “публічну” функцію, в якій аргументами є тип елемента, та його параметри, а вихідним значенням - ініційований Елемент Схеми.

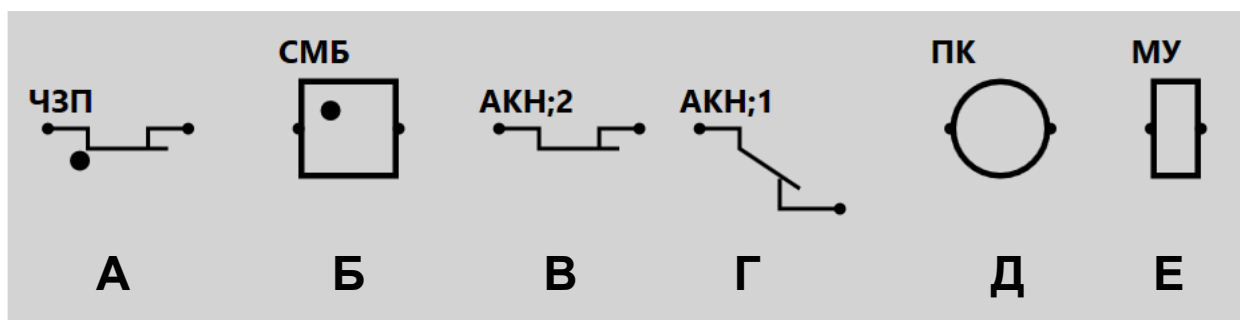
Builder (білдер). Клас реалізує логіку передачі схеми, що зображена на інтерфейсі, в модель емулятора.

Loader (лоадер). Частина програми, що відповідає за збереження, та завантаження створених в інтерфейсі схем, у файл. Для зберігання даних, використано стандартний принцип серіалізації даних у форматі JSON (Java Script Object Notation) для об'єктів C# [22].

Main Window (головне вікно). Містить функції що відповідають за взаємодію інтерфейсу з користувачем. Серед іншого: переміщення елементів по інтерфейсу, обробка подій натискання кнопок миші, реалізація “з'єднання” елементів схеми, та ін.

Script (сценарій). Клас реалізує можливість задавати порядок подій, що відбуваються в схемі. Наприклад «віртуально натискати» на кнопки на пульті системи БМРЦ, та зчитувати дані в задані моменти спрацьовування схем.

В додатку Б представлено зображення головного вікна інтерфейсної частини емулятора. Основна робоча область складається з декількох частин, що виділені (на зображенні) різним кольором, та підписані літерами. Цифрою 1, на рисунку 1 (Додаток А) позначено меню. Цифра 2 - графічне зображення елементів схеми, та з'єднань між ними. Цифра 3 – позначає список, в якому відображаються всі елементи, що були створені та передані в емулятор, та їх стани в реальному часі. В списку під цифрою 4, динамічно виводиться інформація, що відповідає електричним колам, які утворились в електричній схемі, в результаті роботи емулятора. Порядок елементів, відповідає шляху, що проходить електричний струм від плюса джерела живлення до мінуса. Список також відображає інформацію про електричні кола, що були знеструмлені в результаті відповідних комутацій в результаті роботи емулятора. В меню виведена можливість переключати режими роботи емулятора, та сервісні операції (зберігання, робота з елементами схеми).



А – кнопка, Б – джерело живлення, В – фронтний контакт (трійник 2), Г – тильний контакт (трійник 1), Д – обмотка реле першого класу надійності, Е – обмотка реле більш низького класу надійності.

Рисунок 1.3 Відповідні графічні елементи, доступні для моделювання в інтерфейсі емулятора.

Коротко оглянемо елементи графічні елементи схем, що дозволяє використовувати інтерфейс емулятора (Рисунок 1.3). Елементи, що мають жирні крапки, дозволяють в інтерактивному режимі виконувати комутацію елементів в схемі, на що схема буде відповідно «реагувати» в реальному часі.

З'єднання елементів між собою, реалізовано графічним способом, за допомогою відмальовування ліній між точками з'єднання.

2.4 Висновки до розділу

З метою виконання наукового завдання даної роботи, був проведений аналіз існуючих програмних засобів для можливості реалізації та перевірки ефективності запропонованого методу розміщення датчиків системи локалізації відмов системи БМРЦ. В результаті, було прийнято рішення реалізувати програмну модель емулятора системи в межах, що дозволяють виконати завдання. При створенні емулятора, зокрема було використано мову програмування C#, середовище .NET, та технологією WPF. Створений програмний емулятор роботи системи БМРЦ відповідає вимогам, що були надані на початку розділу.

Перевірка адекватності програмної моделі емулятора, щодо можливості бути використаним як емулятора системи БМРЦ була виконана методом експертної оцінки. А також, порівнянням відповідності таблиці стану елементів на виході програмного емулятора, до таблиці станів, наданої екпертом. Перевірка виконувалась на прикладі частини схем набірної групи маршруту станції, що була надана в завданні до роботи для кожної із відмов, що була проемульована.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МНОЖИНИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ НА РЕЛЕЙНІЙ ЕЛЕМЕНТНІЙ БАЗІ, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ КОНТРОЛЮ ЇХ СТАНУ

3.1 Визначення доцільності включення певних елементів системи блочної маршрутно-релейної централізації до множини елементів, які потребують контролю їх стану

Існують різноманітні методи визначення набору елементів для моніторингу (ЕМ). У роботі [19] було запропоновано метод визначення набору ЕМ для колійного обладнання системи БМРЦ на основі статистичних даних. Цей метод враховує статистику таких параметрів [23], як середня тривалість затримки одного поїзда, середня тривалість затримки поїзда на одну відмову, середня кількість затриманих поїздів на одну відмову тощо. У роботі [22] зазначається, що у випадку розроблення АСМД для постового обладнання РЦ, визначення набору ЕМ здійснюється методом експертних оцінок. В статті [19] було досліджено два методи експертних оцінок. В результаті аналітичного огляду літератури попередніх робіт, не було знайдено детального опису реалізації експертної оцінки з метою визначення набору ЕМ внутрішнього обладнання РЦ, запропоновано застосувати нечітку логіку для врахування експертної оцінки.

Теорія нечітких множин (fuzzy sets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є узагальненням класичної теорії множин і класичної формальної логіки. Головною причиною появи нової теорії є той факт, що в процесі опису систем, об'єктів і явищ людина часто використовує нечіткі та наближені міркування.

Характеристикою нечіткої множини слугує Membership Function (MF). Позначимо через $MF(x)$ ступінь належності до нечіткої множини S , що є узагальненням характеристики звичайної (класичної) множини. Тоді нечіткою множиною S називають множину впорядкованих пар вигляду $S = \frac{MF(x)}{x}$, де $MF(x) \in [0,1]$. Значення $MF(x) = 0$ відповідає відсутності належності до множини, а 1 — повній належності.

Для нечітких множин, як і для звичайних, визначені основні логічні операції. Найважливішими для обчислень є перетин і об'єднання.

1. Перетин двох нечітких множин (нечітке «І»):

$$A \text{ and } B: MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x)),$$

2. Об'єднання двох нечітких множин (нечітке «АБО»):

$$A \text{ or } B: MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x)),$$

Для опису нечітких множин вводять поняття нечіткої та лінгвістичної змінних. Нечітка змінна описується набором (N, X, A) , де N — назва змінної, X — універсальна множина (область міркувань), A — нечітка множина на X .

Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна перебуває на вищому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з:

1. назви;
2. множини власних значень, яке також називають базовим терм-множиною T . Елементи базового терм-множини являють собою назви нечітких змінних;
3. універсальної множини X ;
4. синтаксичного правила G , за яким генеруються нові терми з використанням слів природної або формальної мови;
5. семантичного правила P , яке кожному значенню лінгвістичної змінної зіставляє нечітку підмножину множини X .

Системи нечіткого виводу перетворюють значення вхідних змінних на вихідні, використовуючи базу правил нечітких продукцій і нечітке логічне виведення. Зазвичай виконуються такі основні етапи:

1. Формування бази знань

Містить скінченну множину правил нечітких продукцій у формі «ЯКЩО ..., ТО ...» із ваговими коефіцієнтами $F(i)$ (зазвичай у межах $[0,1]$). Вхідні лінгвістичні змінні описують умови (передумови) правил, а вихідні — наслідки (висновки).

2. Фазифікація вхідних змінних

Означає визначення ступенів належності (membership function) фактичних (зазвичай числових) вхідних значень відповідним нечітким термам. Цей крок називають ще «введенням нечіткості», оскільки кожному реальному вхідному значенню зіставляється певна нечітка множина.

3. Агрегування передумов

Для кожного правила визначається загальна міра істинності складеної умови (наприклад, нечітка кон'юнкція «І» чи диз'юнкція «АБО»). Це роблять за допомогою відповідних формул (min, max, алгебраїчний добуток тощо), отримуючи кількісне значення істинності передумови правила.

4. Активізація (або композиція) висновків

На основі знайденої міри істинності умови (та з урахуванням вагових коефіцієнтів) для кожного правила визначається ступінь істинності вихідного нечіткого висловлювання. Зазвичай застосовують методи min- чи prod-активізації.

5. Акумуляція висновків

Оскільки кілька правил можуть утворювати висновки для однієї й тієї самої вихідної змінної, усі результати потрібно об'єднати (найчастіше через max-операцію чи іншу форму нечіткого об'єднання), аби отримати підсумкову нечітку множину для кожної вихідної змінної.

6. Дефазифікація вихідної змінної

Перетворення (за необхідності) отриманої підсумкової нечіткої множини у чітке (числове) значення, придатне для подальшого використання в технічних системах чи інших застосуваннях. Поширеним є метод центроїда (center of gravity).

Схематичне зображення етапів роботи системи нечіткого виводу приведені на рисунку 2.1.

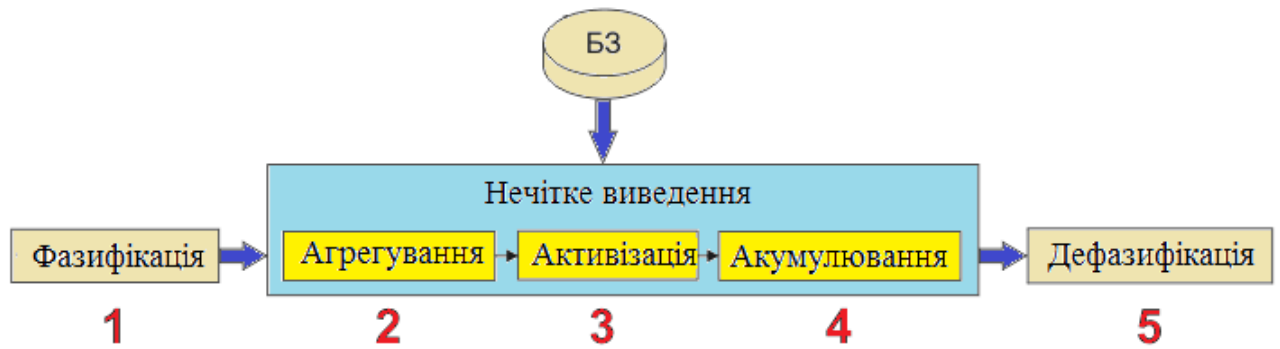


Рисунок 3.1. Етапи роботи системи нечіткого виводу

Якщо для певного числового значення x одразу кілька термів (лінгвістичних функцій) мають досить великі значення $\mu(x)$, то кажуть, що вони «перекриваються». Цей параметр має вплив на фазифікацію. Якщо дві лінгвістичні функції повністю перекриваються на всьому спільному інтервалі, то при фазифікації одного й того ж значення вхідної змінної ми отримаємо майже однакові значення функцій належності для обох термів. У результаті:

- Система нечіткого виведення може «не розрізняти» ці терми за певними вхідними значеннями (ступінь істинності для обох однаково висока).
- Кількість активних правил (які спрацюють через однаково високі значення) збільшиться, що іноді ускладнює або «розмиває» вихідний результат.
- Дефазифікація може давати менш однозначне числове значення, оскільки одночасно впливає декілька дуже схожих термів.

Якщо ж зони перекриття функцій належності становлять відносно невелику частину, то:

- Для більшості значень x одна з функцій матиме явно більшу міру належності, ніж інша.
- Система чіткіше «розмежує» стани (терми), оскільки рідше отримує однаково високі значення функції одразу для кількох термів.
- Правила, що покладаються на один конкретний терм, спрацюватимуть впевненіше, а загальний вихід буде більш «контрастним» і менш неоднозначним.

Отже, ступінь перекриття визначає, наскільки лінгвістичні змінні «конкурують» між собою за однакові значення вхідної величини. Вищий відсоток перекриття може призводити до ширшої області, де кілька термів

однаково підходять, а менший відсоток — до чіткішого розділення між ними і, відповідно, більш однозначного виводу.

Нечітка логіка має багато застосувань для розв’язання завдань, пов’язаних із залізничним транспортом, зокрема: виявлення та ідентифікація відмов стрілочних приводів [24], діагностика несправностей буксових підшипників і оцінка їх деградації, вдосконалення обробки зображень з метою підвищення безпеки на переїздах [25], інструмент підтримки ухвалення рішень у плануванні розвитку транспорту на стратегічному рівні. Проте аналіз літератури не виявив застосування нечіткої логіки для визначення набору ЕМ внутрішньої частини РЦ для використання в АСМД, окрім [19, 20].

Для формування вхідних даних для системи нечіткого висновку, був використаний метод експертної оцінки кожного блока фрагменту системи БМРЦ, яку розглянуто в даній роботі, за 7-бальною шкалою із кроком від -3 до +3. Де -3 – найвища позитивна, а +3 – найвища негативна оцінка. 0 – не має впливу. Оцінювання було виконано одним експертом. В результаті, маємо 24 правила (Додаток В) для системи нечіткого висновку.

В даній роботі моделюється схема набірної групи маршруту відповідно завданню (рисунок 1 додаток Е) в частині третьої та другої струн маршруту прийому від світлофора ЧЗ на п’яту колію. Тому – 26 можливих місць розташування датчиків системи локалізації відмов.

Для вводу та виводу інформації до системи нечіткого висновку, необхідно задати форму функцій приналежності. Аналіз літературних джерел не надав чітких рекомендацій щодо переваг або недоліків використання тієї чи іншої функції приналежності. З метою дослідження впливу форми функції приналежності, на результати роботи системи нечіткого висновку, було перевірено 2 види функцій.

Трикутна функція - $f(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$, де a , b та c – числові значення, що визначають позицію та форму функції.

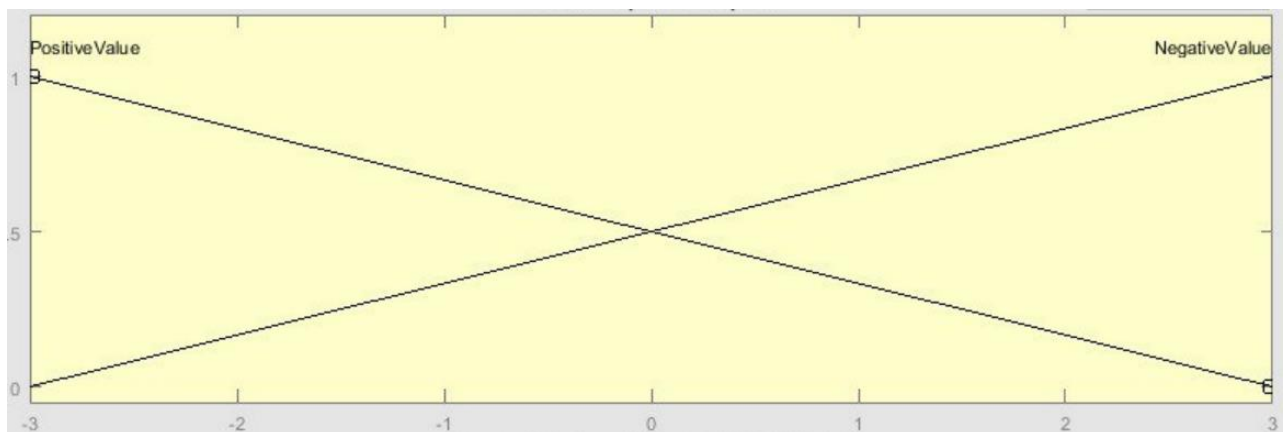


Рисунок 3.3 Вигляд трикутної функції належності

На рисунку 3.3 приведено зображення трикутної функції належності, що має такі параметри $\mu_{a1,1}(x) = f(x; -9, -3, 3)$, та $\mu_{a1,2}(x) = f(x; -3, 3, 9)$, на прикладі змінної $a1$.

Гаусова функція - $f(x; \delta, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\delta^2}}$,

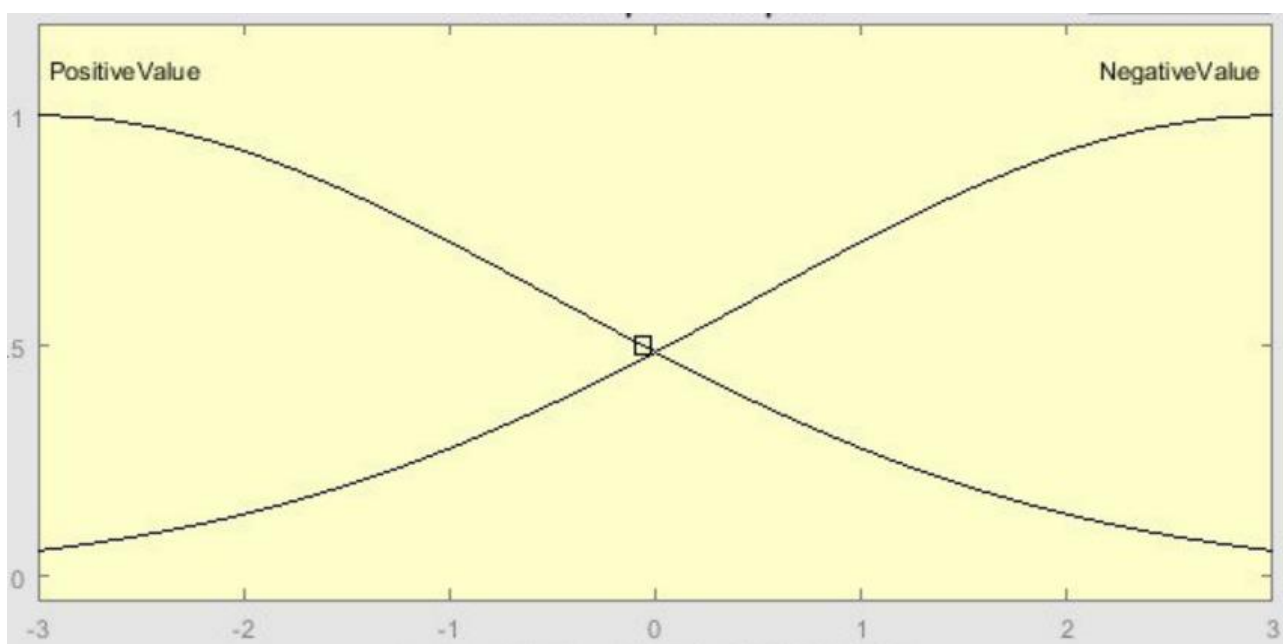


Рисунок 3.4 Вигляд функції належності Гаусового типу.

На рисунку 3.4 наведено приклад вигляду функції Гаусового типу. Допускаємо, можливість відносно плавної зміни коефіцієнту «доцільності» на виході системи нечіткого висновку, при використанні функції Гаусового типу.

В додатку Г приведено результати роботи системи нечіткого висновку. Результати, представлені у вигляді таблиці. Де для кожного елемента,

приведений коефіцієнт від 0 до 1. Коефіцієнт відображує доцільність включення того чи іншого елемента до множини елементів, що потребують моніторингу за їх станом. Також в таблиці приведено результати оцінювання параметрів, що отримані шляхом залучення експерта до даної роботи. Критерії представлені змінними a із порядковим номером від 1 до 7. Критерії відповідають тим, що в роботі [19], та відображають фактори, на які впливає доцільність моніторингу елементів. В таблиці 3.1 наведено повний перелік критеріїв оцінювання кожного елемента моніторингу.

Таблиця 3.1. Критерії оцінювання

ID	Назва властивості	Опис властивості	Позитивне значення	Негативне значення
1	Вплив відмови елемента на безпеку руху поїздів	Ступінь впливу відмови елемента в постовій частині системи релейної централізації на безпеку руху поїздів	Вплив низький	Спричиняє небезпечну відмову
2	Вплив відмови на працездатність системи РЦ	Ступінь впливу відмови елемента на працездатність постовій частини системи релейної централізації	Працездатність не втрачена	Система в непрацездатному стані
3	Частота відмов	Частота відмов конкретного елемента в постовій частині системи релейної централізації	Відмови практично відсутні	Частота відмов максимальна
4	Відхилення у графіку та затримки руху поїздів	Ступінь впливу елемента в постовій частині системи РЦ на затримки поїздів у разі його відмови	Затримки відсутні	Затримки максимальні
5	Час простою	Час, витрачений на усунення відмови елемента в постовій частині системи релейної централізації	Мінімальний	Максимальний
6	Опосередкований моніторинг	Ступінь моніторингу стану елемента в постовій частині системи РЦ через інші елементи	Можливий	Неможливий
7	Час технічного обслуговування	Час та періодичність перевірки стану елемента в постовій частині системи релейної централізації	Мінімальний	Максимальний

Схема розміщення датчиків, що використовуються в дослідженні, і частина блочного плану набірної групи, наведена в додатку Е на рисунку 1 (Додаток Е).

Також, в таблиці 1 (Додаток Е) приведені назви датчиків і їх порядковий номер, що використовується для ідентифікації датчика в дослідженні.

3.2 Результати моделювання блочної маршрутно-релейної централізації

Для реалізації задачі перевірки методу визначення ефективності розміщення датчиків шляхом використання системи нечіткого висновку, необхідно визначити кількість ймовірних відмов в системі БМРЦ, що обладнується системою локалізації відмов. Для вирішення цієї задачі був використаний програмний емулятор, описаний в попередніх розділах.

Проаналізувавши схеми набірної групи заданого маршруту, який моделюється в даній роботі (рисунок 1 додаток Е), вирішено накопичити інформацію про роботу системи для кожної відмови. Третя струна наборної групи має логічні залежності від спрацьовування відповідних реле в першій та другій струні, зокрема залежності в блоках проміжних світлофорів по маршруту. Тому, припускаємо, що при емуляції відмов, будемо мати такий набір даних, що в достатньому обсязі забезпечить задачу проведення подальшого аналізу.

В даній роботі моделюється робота лише частини схеми. Зокрема, не розглядається спрацьовування кнопкових реле. Для відповідного спрацьовування частини реле в схемі, їх було «ізолювано» від залежностей, шляхом підключення до полюсів живлення напряму. Наприклад, реле НКН (початкове кнопкове реле), в блоці світлофора ЧЗП, та реле ОП (спільне протиповторне), були підключені до одного джерела живлення послідовно. Живлення для таких реле подається до того, як емулюється робота схем струн, для того, щоб ці реле, встановили свої контакти у відповідний початковий стан. Завдяки цьому забезпечується відповідна послідовність подальшого розгортання схем струн.

Для накопичення інформації щодо відмов у системі, було використано «Сценарій» із інтерфейсної частини емулятора.

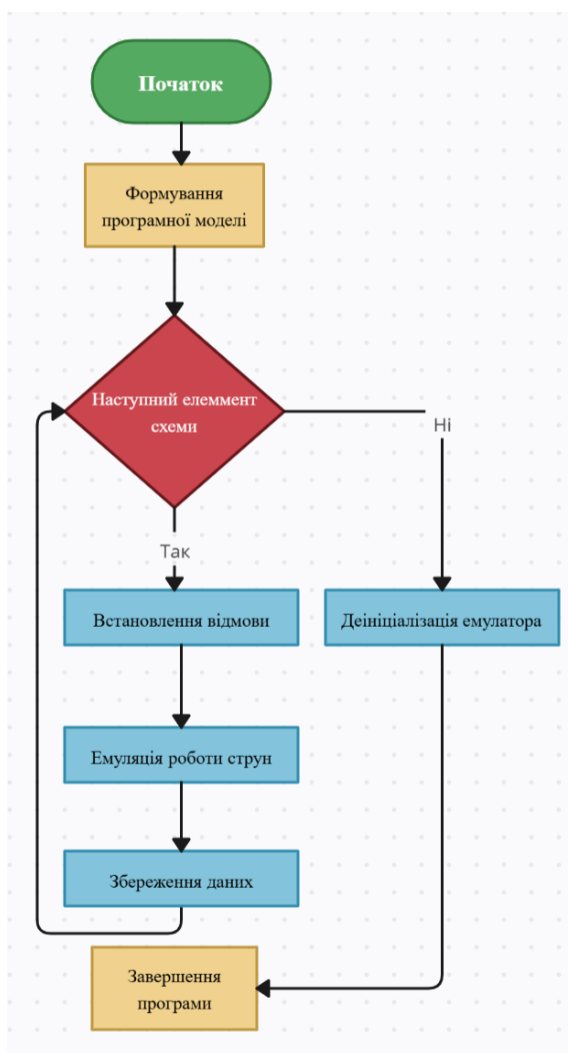


Рисунок 3.2. Алгоритм емуляції емуляції відмов для кожного елемента схеми

На рисунку 3.2 приведено алгоритм, що був реалізований програмно. Для емуляції роботи схеми було проемільовано встановлення одиночної відмови для кожного з елементів схеми. Для елемента типу «Обмотка» емулюється одна відмова – розрив кола живлення. Для типу «Перемикач» емулюється по чергово дві відмови. Перша – відсутність контакту між основним, і, відповідно тиліовим, або фронтіовим контактами. Друга – нерозмикання спільного контакту із фронтіовим або тиліовим, відповідно.

Результати роботи кожної ітерації являють собою набір даних, що можна представити у вигляді матриці нулів та одиниць. Де 0 – елемент під живленням, 1 – елемент знеструмлений. Завдяки незмінному порядку об’єктів елементів схеми в пам’яті системи, протягом всього періоду роботи емулятора, порядок

відповідних елементів в матриці, також залишається незмінним. Це відбувається за рахунок використання структури даних типу List (Список).

Кожна ітерація роботи емулятора дає на виході два рядки даних. Відповідно `second_string` (для другої струни), та `third_string` (для третьої струни). Кожен рядок – сукупність станів (під струмом, або знеструмлених) для кожного елемента схеми в той момент часу, коли відбувалось зчитування даних.

Зчитування даних, для даної роботи відбувається в момент завершення комутації струн. Для другої струни – після кроку спрацьовування реле ВП, а для третьої струни – після ввімкнення реле ПУ/МУ.

Процес зчитування даних відбувається за такий проміжок часу, що є незначним, та не може мати суттєвий вплив на роботу емулятора. Це досягається шляхом копіювання змінних, що містять інформацію про стан елементів, до матриці станів, а не посилення на них. Далі, ця матриця зберігається до файлу в окремому потоці, не маючи впливу на основний потік програми.

Результатом роботи емулятора є набір станів елементів електричних кіл (реле, та їх контактів) для 36 відмов. Подальша обробка даних відбувається за допомогою онлайн версій програм MATLAB та Excel for Web. Вхідними даними для дослідження є результати роботи системи нечіткого висновку для датчиків, що планується встановити, та інформація щодо відмов для розглядаємої частини схеми.

Для визначення ефективності методу оцінки, що розглядається, за допомогою системи нечіткого висновку, порівнюємо кількість відмов, що можуть бути виявлені датчиками, поступово піднімаючи поріг коефіцієнта. Для цього, покроково піднімаючи порогове значення коефіцієнту, визначаємо набір датчиків, що мають коефіцієнт більший, або рівний пороговому. Для кожного із цього набору датчиків, визначаємо кількість відмов, що здатен виявити датчик, входячи до складу кожного такого набору, і будуємо діаграму. Так як в роботі не розглядається розробка частини системи локалізації відмов, що оброблює дані з датчиків, вважаємо, що якщо ЕМ «підключений» до розглядаємого елемента схеми – то він виявляє відмову. Якщо датчик не входить до складу струни, то

відмова вважається не виявленою. Розглядається кожна вибірка набору датчиків для кожної згенерованої відмови.

Схема розташування набору ЕМ, що входять до даної роботи наведена на рисунку 1 в додатку Е. Переглянемо результати, що було отримано в результаті підрахунку кількості відмов, виявлених датчиками.

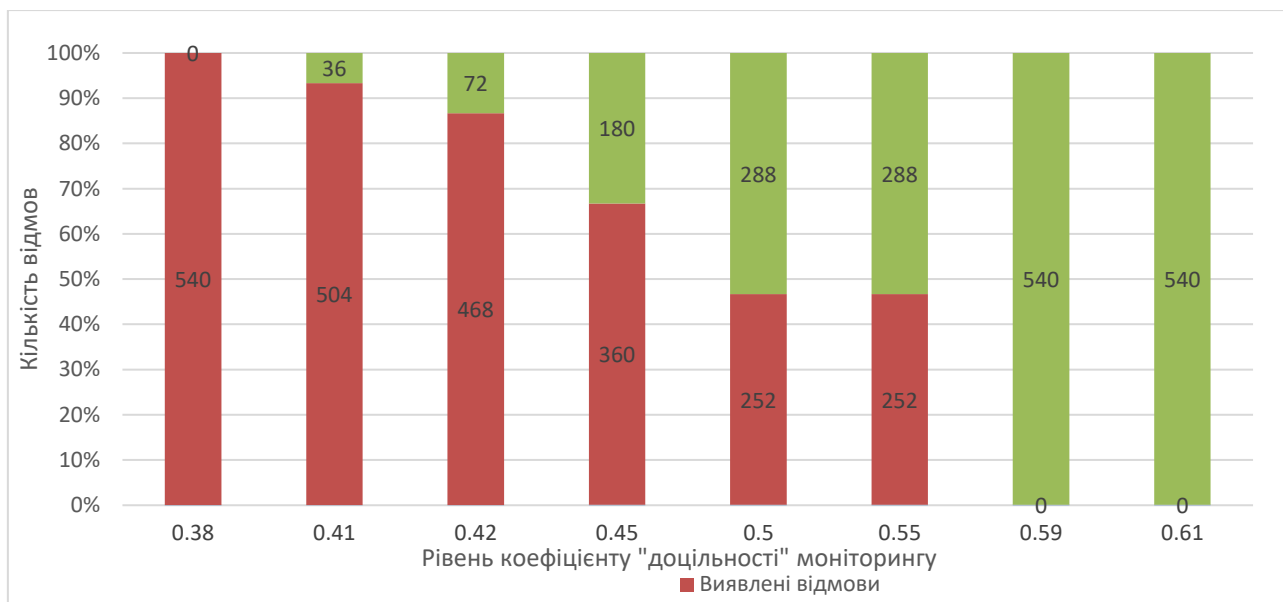


Рисунок 3.5 Діаграма виявлених відмов, при 30% перекритті функцій належності трикутного типу

На рисунку 3.5 приведено результат дослідження для випадку 30% перекриття функцій належності при використанні функцій належності трикутного типу. Як бачимо із діаграми, кількість виявлених відмов знижується із зменшенням кількості датчиків. Але можна зазначити поріг, що вище значення коефіцієнту «доцільності» 0.5. З якого витікає, що при подальшому збільшенні значення коефіцієнта, кількість виявлених відмов виявлених датчиками системи, залишається однаковою, а кількість датчиків, при цьому - зменшується.

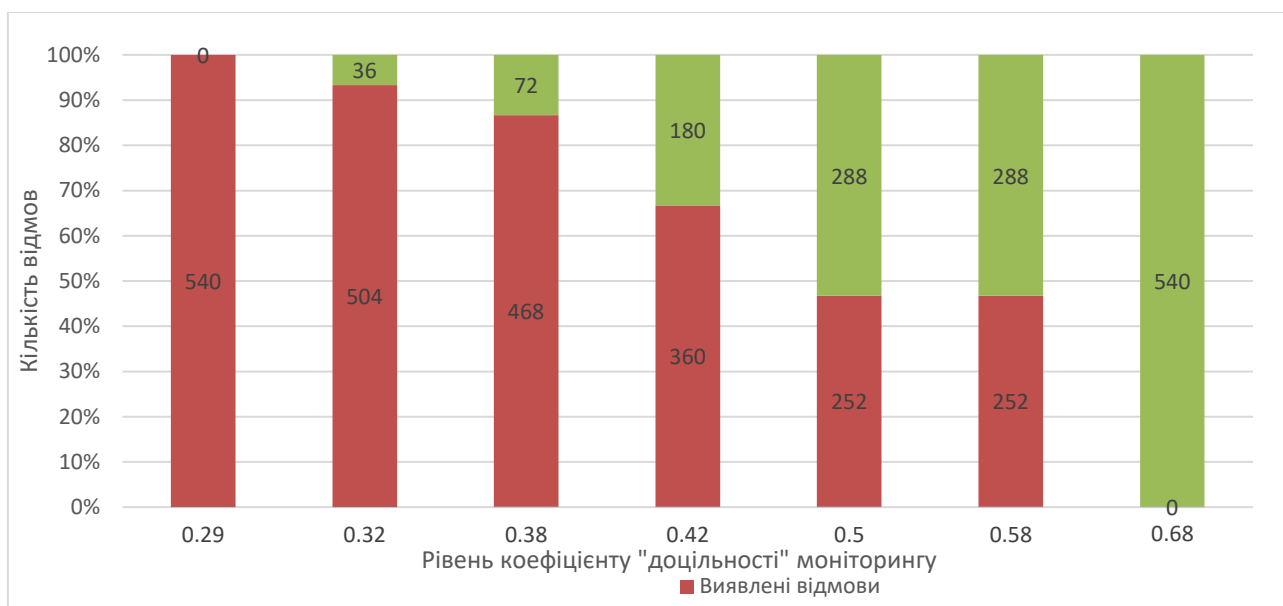


Рисунок 3.6 Діаграма виявлених відмов, при 60% перекритті функцій належності трикутного типу.

На діаграмі (рисунок 3.6) можна прослідити ту ж саму тенденцію, що і при перекритті в 30%. Після збільшення порогу у 0.5, зменшується кількість датчиків, що входять до набору, а кількість виявлених відмов не змінюється.

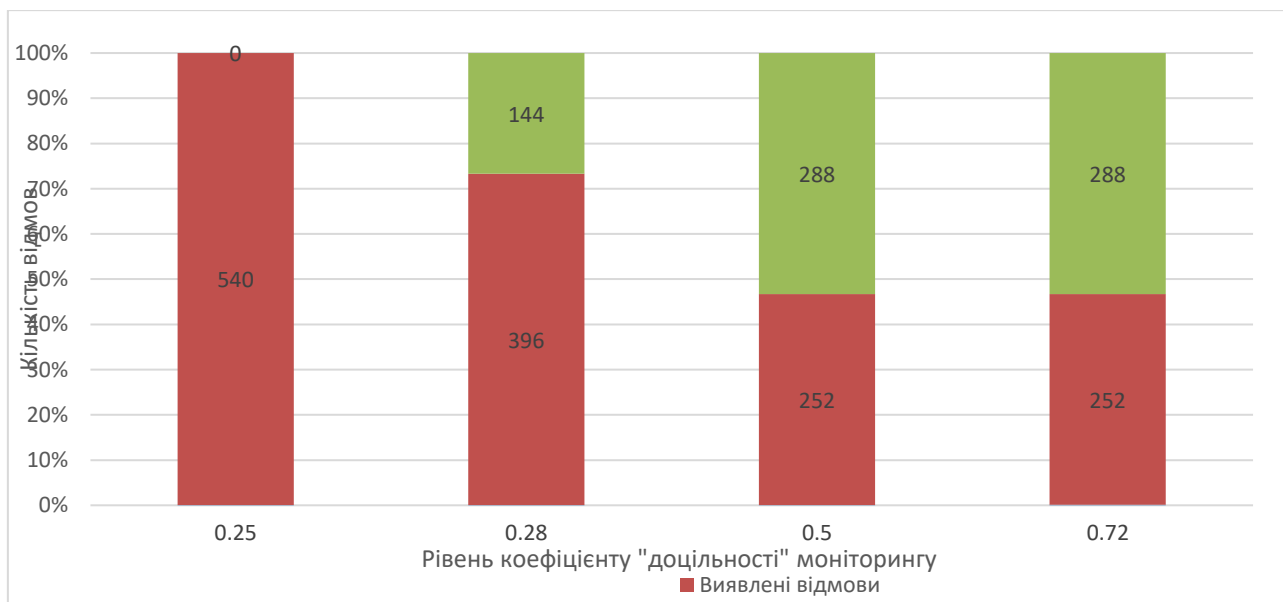


Рисунок 3.7 Діаграма виявлених відмов, при 100% перекритті функцій належності трикутного типу.

В діаграмі на рисунку (Рисунок 3.7) спостерігається така ж сама закономірність, як і в попередніх дослідженнях. Після порогу 0.5, кількість

виявлених відмов не змінюється при зміні кількості датчиків. Однак, в попередніх дослідженнях існує поріг, вище якого, кількість виявлених помилок різко зменшується.

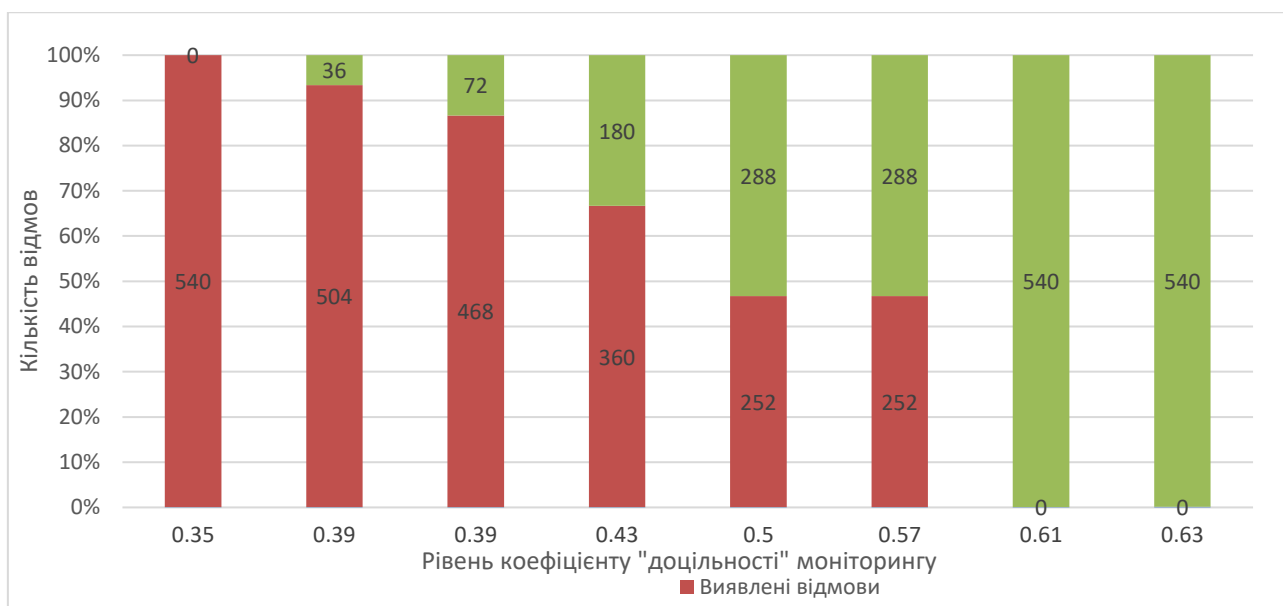


Рисунок 3.8 Діаграма виявлених відмов, при 30% перекритті функцій належності Гаусового типу.

Дослідження роботи системи нечіткого висновку при використанні функцій належності Гаусового типу, не виявила знаного розходження із даними, отриманими при використанні функцій належності трикутного типу (Рисунок 3.8).

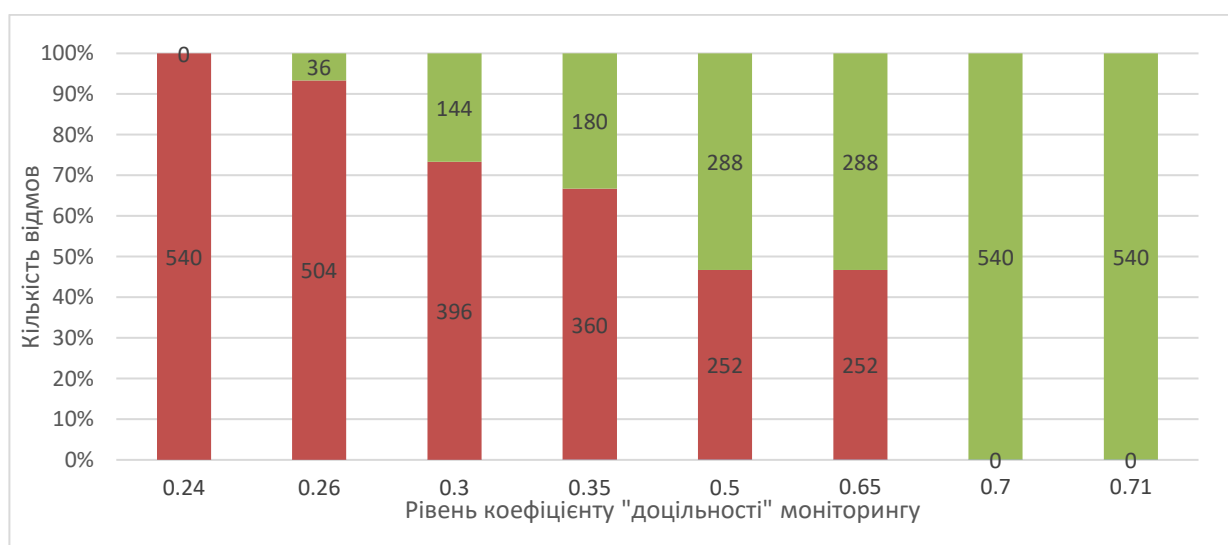


Рисунок 3.9 Діаграма виявлених відмов, при 100% перекритті функцій належності Гаусового типу.

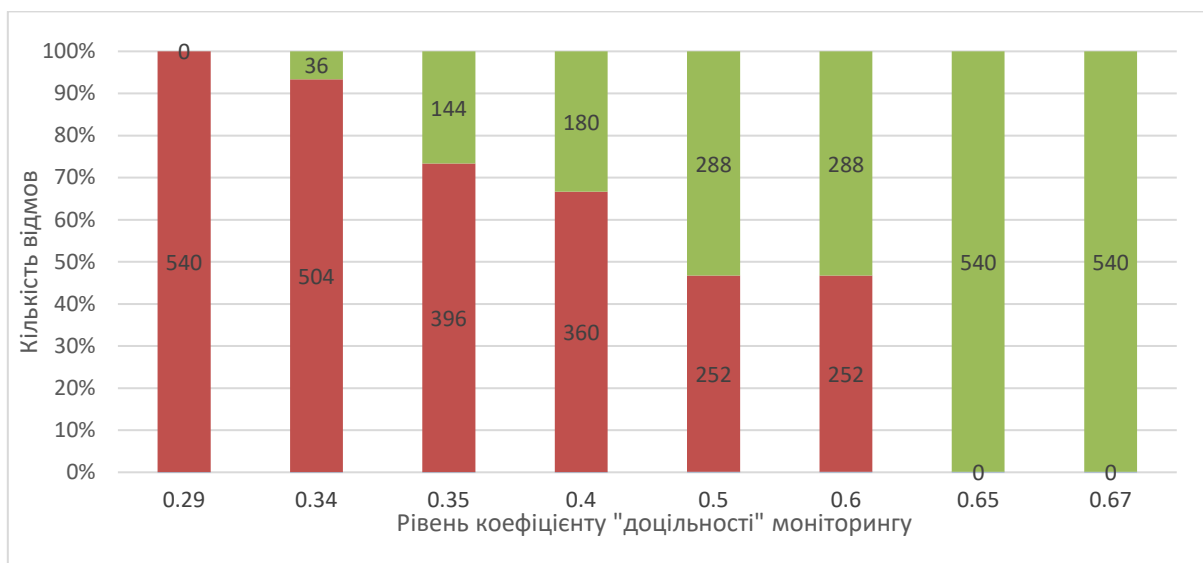


Рисунок 3.10 Діаграма виявлених відмов, при 60%
перекритті функцій належності Гаусового типу.

При перетині всіх функцій приналежності, для 30%, 100% та 60% (Рисунок 3.9, 3.10) для Гаусового типу, не просліджується значних відмінностей від відповідних функцій приналежності трикутного типу. Виходячи із вище описаного, можна зробити висновок, що при тій кількості відмов, та залежностей схеми, що була досліджена, тип функції належності не має суттєвого впливу на результат роботи системи нечіткого висновку.

Розглянувши результати роботи знаходимо підтвердження ефективності методу оцінки, що досліджується в роботі. Для всіх варіантів перетину функцій належності, після порогу 0,5, виявляється однакова кількість відмов, при меншій кількості датчиків. Припускаємо, що при більшій кількості змодельованих нелінійних залежностей в схемі, та кількості елементів, закономірність буде зростати.

3.3 Висновки до розділу

Для визначення місць розташування датчиків в АСМД стосовно системи БМРЦ в роботах [19, 20] запропоновано використати систему нечіткого висновку. Входи цієї системи – цілочислова оцінка за шкалою $-3 \dots +3$ для набору

з семи параметрів, за кожним з яких оцінено відповідні елементи БМРЦ. Виходом є рівень доцільності включення відповідних елементів БМРЦ до множини ЕМ. Отримано значення вказаних рівнів доцільності для СНВ при двох видах функцій приналежності та трьох наборах значень аргументів для кожного виду.

Виконано моделювання програмної моделі фрагменту системи БМРЦ для коректного сценарію роботи та 36 сценаріїв, які характерні для певних несправностей. Враховуючи результати роботи СНВ, у певних точках модельованого фрагменту системи БМРЦ розміщено «датчики», які фіксують стан відповідних елементів. Обчислено кількість виявлених (локалізованих) та невиявлених несправностей для кожного набору датчиків. На основі цього побудовано залежності кількості виявлених (локалізованих) несправностей від кількості датчиків, встановлених з урахуванням результатів роботи СНВ.

Вказані залежності створюють основу для подальшого дослідження та обґрунтування економічної ефективності розробки АСМД.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В даній роботі удосконалено процес локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу шляхом використання систем нечіткого висновку. Основні результати полягають в наступному:

– Проведено аналітичний огляд застосування систем електричної централізації, у т.ч. на релейній елементній базі (ЕЦР), на залізницях України, процесу локалізації несправностей в системі ЕЦР (у т.ч. з використанням систем нечіткого висновку). Під час цього аналізу виявлено значну частку, яку займають релейні системи автоматики на залізницях України, як правило, перевищення граничного терміну експлуатації цих систем і як наслідок збільшення інтенсивності виникнення несправностей, що призводять до затримок в русі поїздів та інших видів пов'язаних втрат. Зменшити ці втрати можна, зокрема, шляхом удосконалення процесу локалізації несправностей в системі електричної централізації релейного типу з використанням систем нечіткого висновку.

– Виконано огляд пристроїв для автоматичного визначення стану реле в системі ЕЦР та способів визначення місць їх встановлення в системі ЕЦР. Для визначення місць розташування датчиків, які моніторять стан певних елементів системи ЕЦР, використано систему нечіткого висновку, що дозволило обирати місця встановлення датчиків залежно від наявних ресурсів.

– Проведено огляд середовищ для моделювання роботи системи ЕЦР. В результаті цього обрано мову програмування C#, платформу .NET, GUI WPF під ОС Windows, об'єктно-орієнтоване програмування. Створено програмну модель фрагменту системи БМРЦ, підтверджено її адекватність. Виконано моделювання програмної моделі фрагменту системи БМРЦ для коректного сценарію роботи та 36 сценаріїв, які характерні для певних несправностей. Враховуючи результати роботи СНВ, у певних точках модельованого фрагменту системи БМРЦ розміщено «датчики», які фіксують стан відповідних елементів. Обчислено кількість виявлених (локалізованих) та невиявлених несправностей для кожного набору датчиків. На основі цього побудовано залежності кількості виявлених

(локалізованих) несправностей від кількості датчиків, встановлених з урахуванням результатів роботи СНВ. Вказані залежності створюють основу для подальшого дослідження та обґрунтування економічної ефективності розробки АСМД.

Напрями подальшої роботи:

– Реалізація функціоналу, який дозволяє програмній моделі емулятора збирати схему на рівні готових блоків.

– Адаптація до застосування під час навчання здобувачів освіти на кафедрі «Автоматика та телекомунікації» [18] (наприклад, наглядно відображати електричні кола, та спрацювання елементів у різні моменти часу).

– Адаптація для навчання електромонтерів та електромеханіків шляхом емуляції різних відмов.

– Обґрунтування економічної ефективності розробки АСМД.

Програмна модель може бути використана для досліджень і подальшої розробки системи локалізації відмов.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Статистичні звіти. <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html>
- 2 В. І. Мойсеєнко, М. С. Курцев, О. В. Лазарєв - технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів.
- 3 Правила технічної експлуатації залізниць України
- 4 Наказ Міністерства Юстиції України Про затвердження Правил технічної експлуатації залізничного транспорту промислових підприємств
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0237-10#Text>
- 5 Мойсеєнко В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Частина 1 Централізація стрілок і сигналів/ В.І. Мойсеєнко// Під ред. Г.І. Загарія. – Х.: ХФВ «Транспорт України», 1999.
- 6 <https://impulse.ua/index.php/ua/mdts-ua>
- 7 Ю.М. Юрченко, С.В. Кошевий, А.Б. Бойнік, М.Д. Жердев, В.Л. Сусідко Визначення економічної ефективності впровадження мікропроцесорних систем керування процесом перевезень.
- 8 Варбанець М.Г. Системи залізничної автоматики і телемеханіки: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 190 с
- 9 Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2017, № 13 (В. В. Лагута, Т. М. Сердюк, А. А. Пархоменко)
- 10 Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щебликіна О.В. Прогнозна динаміка впливу людського та технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв залізничної автоматики. Вісник приазовського державного технічного університету, вип. 40.
- 11 Статистичні відомості щодо відмов пристроїв автоматики, за запитом. Переписано з екрану.
- 12 Басов В.І. Мікропроцесорні системи управління рухом поїздів МПЦ-У та МАБ-У/ В.І. Басов, В.В. Єлісеєв, О.В. Петренко, А.Б. Бойнік, М.Н. Чепцов,

- С.О. Радковський// Навчальний посібник для студентів залізничного транспорту. К.: 2014
- 13 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31996L0048>
 - 14 <https://mtu.gov.ua>. Зведений звіт діяльності галузі транспорту та надання послуг поштового зв'язку за січень – серпень 2022 року.
 - 15 https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/622470
 - 16 Dmitrenko, I.Ye.; Sapozhnikov, V.V.; Dyakov D.V. 1994. Izmereniya i diagnostirovanie v sistemakh zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi, Moskva: Transport.
 - 17 Журкаовський Ю.П. Полторак В.П. Теорія Інформації та Кодування: Підручник - К. Вища шк., 2001. - 255ст.
 - 18 Маловічко, В. В. Використання теорії графів для аналізу працездатності та пошуку відмов в системах електричної централізації на залізничних станціях / Маловічко В. В., Маловічко Н. В., Рибалка Р. В. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 82 Міжнар. наук.-практ. конф., 20–21 квіт. 2023 р. / М-во освіти і науки України, Укр. держ. ун-т науки і технологій [та ін.]. – Дніпро, 2023. – С. 19–20.
 - 19 V. Malovichko, R. Rybalka, N. Malovichko, K. Honcharov - Determining the Set of Elements for Automatic Monitoring and Diagnosing the Relay Interlocking System
 - 20 R. Rybalka, O. Tihanov. Software implementation of the model of the block route relay interlocking system. Engineer of the Third Millennium: Proceedings of International Students' Scientific Conference. Dnipro: USUST, 2024. 112 с.
 - 21 <https://blog.postsharp.net/wpf-best-practices-2024>
 - 22 <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/serialization/system-text-json/overview>
 - 23 Malovichko, V.V.; Rybalka, R.V.; Malovichko N.V.; Meleshko, V.V. 2012. Vyznachennia priorytetiv vyboru obektiv diahnostuvannia ta kontroliu elektrychnoi tsentralizatsii z urakhvanniam zatrymok poizdiv, Zbirnyk

naukovykh prats. Donetskyi instytut zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu, Donetsk 31: 57-61.

- 24 Narges, K.H.; Ahmad, M.; Fereydoun, G.M. 2021. A hybrid fault diagnosis scheme for railway point machines by motor current signal analysis, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.
- 25 Rybalka, R., Honcharov, K. 2015. Method for pre-processing of level crossing image, Transport problems 10(1): 79-86

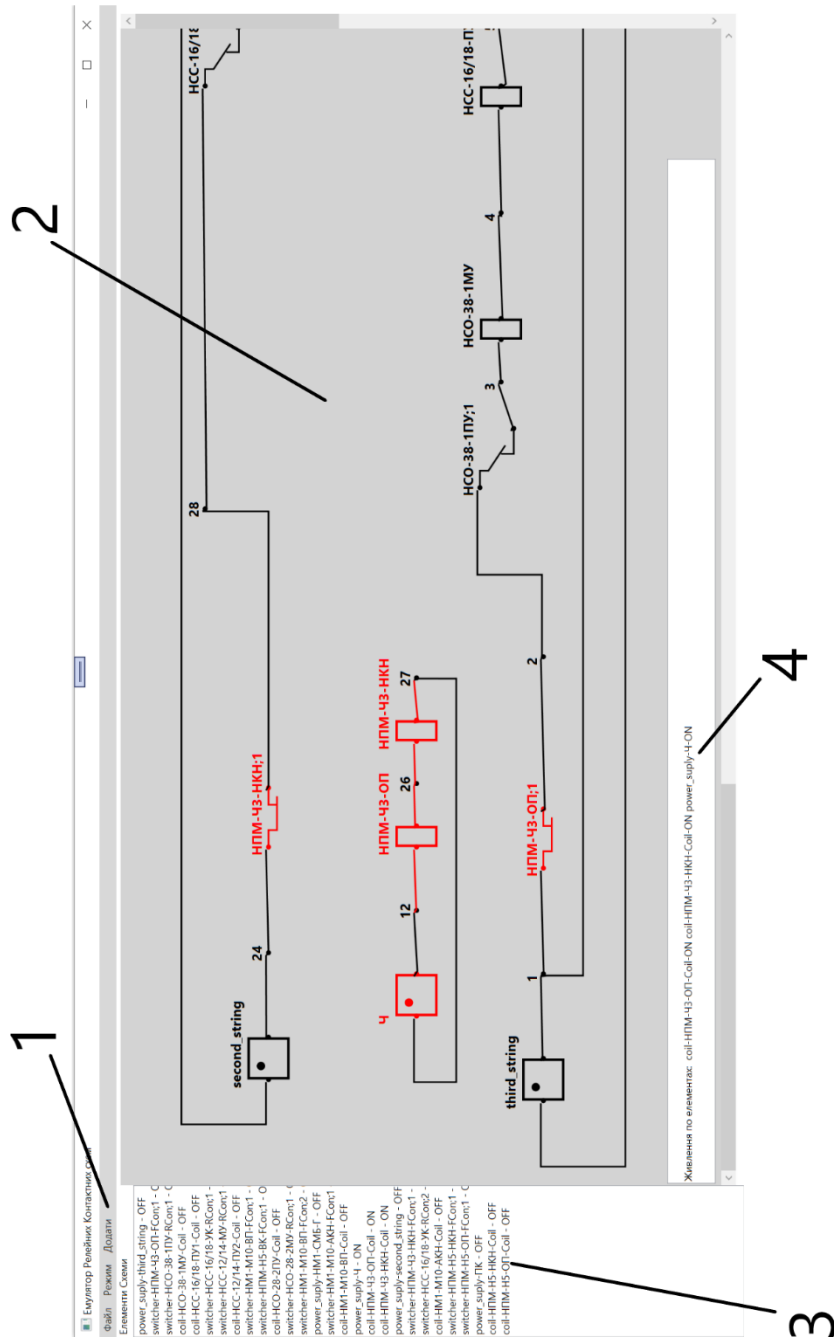
ДОДАТОК А

**Статистична інформація щодо кількості відмов в системах залізничної
автоматики за перші півріччя 2023/2024р**

Причини	Системи (пристрої)							%
	ДОН	ЛьВ	ОД	Пів	П-3	ПРДН	ВСЬОГО	
1. Експлуатаційні, всього:	4	26	49	32	41	57	209	73,33
	2	51	50	7	32	25	167	75,57
1.1. Невиконання робіт, передбачених план-графіками технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками УЗ	0	0	0	1	1	0	2	0,70
	0	0	0	0	1	0	1	0,45
1.2. Порухення технології виконання робіт (недотримання вимог технологічних карт та керівництв з експлуатації) при технічному обслуговуванні та ремонті пристроїв СЦБ	3	14	10	4	7	31	69	24,21
	1	15	16	3	11	18	64	28,96
1.3. Порухення термінів заміни приладів	0	0	0	0	0	6	6	2,11
	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1.4. Неякісний ремонт та перевірка приладів в РТД	0	0	0	1	1	5	7	2,46
	0	0	1	0	0	2	3	1,36
1.5. Фізичне старіння приладів (пристроїв)	1	10	38	21	28	12	110	38,60
	1	33	32	4	18	3	91	41,18
1.6. Схемний недолік	0	0	1	0	1	0	2	0,70
	0	0	0	0	2	0	2	0,90
1.7. Причина не виявлена	0	2	0	5	3	3	13	4,56
	0	3	1	0	0	2	6	2,71
2. Інші, всього:	2	10	16	30	8	10	76	26,67
	0	2	22	18	7	5	54	24,43
2.1. Конструктивно-заводський недолік	0	1	10	2	1	3	17	5,96
	0	1	19	0	2	3	25	11,31
2.2. Вплив грозових та комутаційних перенапруг	0	4	1	11	4	2	22	7,72
	0	1	0	6	2	2	11	4,98
2.3. Розкрадання, навмисне пошкодження пристроїв	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	0	0	0	0	0	0	0	0,00
2.4. Стихійні лиха (ожеледиця, повінь та інші)	0	0	1	0	0	3	4	1,40
	0	0	0	0	0	0	0	0,00
2.5. Інші	2	5	4	17	3	2	33	0,26
	0	0	3	12	3	0	18	0,13
Всього	6	36	65	62	49	67	285	100,00
	2	53	72	25	39	30	221	100,00

ДОДАТОК Б

Головне вікно розробленої програмної моделі системи блочної маршрутно-релейної централізації

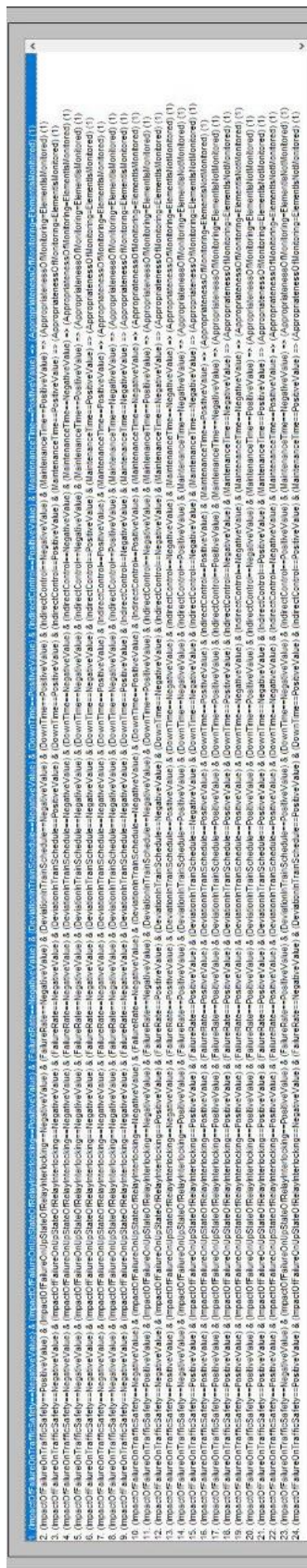


- 1 – Меню; 2 – Робоча область; 3 – Список елементів схеми;
4 – Список комутації електричних кіл.

Рисунок 1. Загальний вигляд головного вікна інтерфейсу емулятора.

ДОДАТОК В

Набір правил для системи нечіткого висновку



ДОДАТОК Г

Дані, що отримані в результаті роботи системи нечіткого висновку

№	Назва	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	Вих. коеф.
1	Напруга на блоці НІМ світлофора ЧЗ	2	3	3	0	-2	-3	-2	0.65
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	0	-1	-2	-1	-1	0	-1	0.4
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0.4
	Напруга на блоці НІМ світлофора Н5	2	3	3	0	-2	-3	-2	0.65
2	Напруга на блоці НІМ світлофора ЧЗ	1	2	2	1	-1	-1	0	0.6
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-3	0.29
	Напруга на блоці НСС 16/18 стрілок	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-3	0.34
	Напруга на блоці НСС 12/14 стрілок	-1	-1	-1	-2	-1	-3	-3	0.34
	Напруга на блоці НМІ світлофора М10	1	2	2	0	-1	-1	0	0.6
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	-1	-1	-1	-2	-3	-3	-3	0.34
	Напруга на блоці НІМ світлофора Н5	1	2	2	1	-1	-1	0	0.6
3	Напруга на блоці НІМ світлофора ЧЗ	1	2	1	0	0	-1	-1	0.6
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	0	-1	-2	-1	-1	-2	-2	0.35
	Напруга на блоці НСС 16/18 стрілок	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	0.4
	Напруга на блоці НСС 12/14 стрілок	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2	0.4
	Напруга на вході блоку НМІ світлофора М10	1	2	1	0	0	-1	0	0.6
	Напруга на виході блоку НМІ світлофора М10	1	2	1	0	0	-2	0	0.6
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	0.4
	Напруга на блоці НІМ світлофора Н5	1	2	1	0	0	-1	-1	0.6
4	Напруга на блоці НІМ світлофора ЧЗ	3	2	3	2	-2	1	0	0.67
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	3	-1	-1	0	1	2	2	0.65
	Напруга на блоці НСС 16/18 стрілок	1	0	-1	1	0	2	1	0.6
	Напруга на блоці НСС 12/14 стрілок	1	0	-1	1	0	2	1	0.6
	Напруга на блоці НМІ світлофора М10	1	0	-1	1	0	2	1	0.6
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	2	0	-1	1	0	2	1	0.65
	Напруга на блоці НІМ світлофора Н5	1	1	-1	1	0	2	0	0.5

ДОДАТОК Е

Схема розміщення датчиків в постовому обладнанні системи БМРЦ для дослідження

Таблиця 1. Список елементів моніторингу, що були використані для виконання експерименту в даній роботі

Струна	Назва елементу моніторингу	ID
Струна 2	Напруга на блоці НПМ світлофора ЧЗ	1
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	2
	Напруга на блоці НСС 16/18 стрілок	3
	Напруга на блоці НСС 12/14 стрілок	4
	Напруга на блоці НМІ світлофора М10	5
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	6
	Напруга на блоці НПМ світлофора Н5	7
Струна 3	Напруга на блоці НПМ світлофора ЧЗ	8
	Напруга на блоці НСО 38 стрілки	9
	Напруга на блоці НСС 16/18 стрілок	10
	Напруга на блоці НСС 12/14 стрілок	11
	Напруга на вході блоку НМІ світлофора М10	12
	Напруга на виході блоку НМІ світлофора М10	13
	Напруга на блоці НСО 28 стрілки	14
	Напруга на блоці НПМ світлофора Н5	15

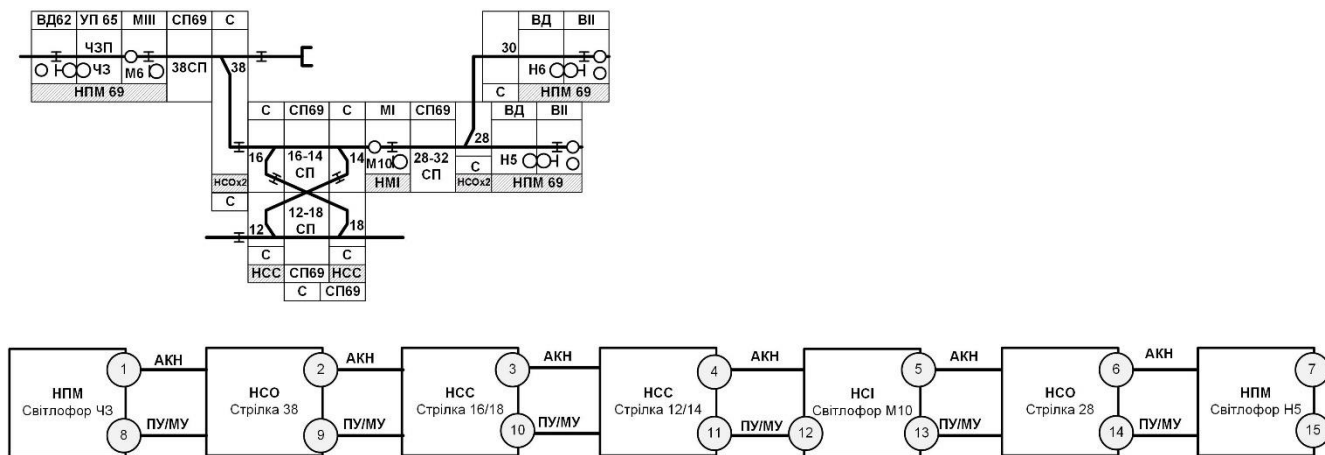


Рисунок 1. Схема розташування датчиків для частини набірної групи маршруту