

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

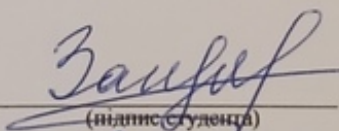
Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

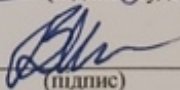
на тему: «Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілок шляхом автоматизації контролю їх параметрів»
за освітньою програмою: «Системи керування рухом поїздів»
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

Виконав: студент
групи СК2321


(підпис студента)

/Ярослав ЗАШКО/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

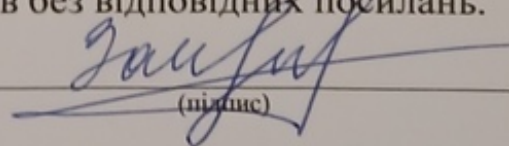
Керівник:


(підпис)

/доц. Володимир МАЛОВІЧКО/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Дніпро – 2025 рік

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: «Development of the input signal diagnostics subsystem at the station»
according to educational curriculum «Railway traffic control systems»
in the Speciality: «273 Railway transport»

Done by the student of the group CK2321:

/ Yaroslav ZASHKO /

Scientific Supervisor:

/Volodymyr MALOVYCHKO/

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: «Системи керування рухом поїздів»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студенту Зашко Ярославу Миколайовичу

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілок шляхом автоматизації контролю їх параметрів»

Керівник роботи: Маловічко Володимир Володимирович, доцент
затверджені наказом № 20 ст. від 05.01.2024

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Стрілки електричної централізації з
двигунами постійного струму

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

4.1 Аналіз сучасних систем діагностування та контролю

4.2 Методи та засоби технічної діагностики стрілочних переводів

4.3 Розробка засобів автоматичного контролю стану стрілок в різних системах електричної централізації

4.4 Розробка методів автоматичної обробки інформації про стан стрілочних переводів

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	Аналіз сучасних систем діагностування та контролю	1.12.24	30%
2	Методи та засоби технічної діагностики стрілочних переводів	15.12.24	60%
3	Розробка засобів автоматичного контролю стану стрілок в різних системах електричної централізації	30.12.24	100%
4	Розробка методів автоматичної обробки інформації про стан стрілочних переводів	30.12.24	100%
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.25	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.25	

Студент

(підпис)

Ярослав ЗАШКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Володимир МАЛОВІЧКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

84 с., 10 рис., 3 табл., 11 джерел.

Задачею даної магістерської роботи була розробка методів та технічних засобів для підвищення ефективності обслуговування стрілочних переводів.

В першому розділі роботи було проведено аналіз систем контролю та діагностування які використовуються на залізницях України для визначення ступеня контролю стрілочних переводів в кожній з розглянутих систем.

В другому розділі розглянуті методи діагностування пристроїв автоматики в цілому, визначені за допомогою вагових коефіцієнтів пріоритетні об'єкти діагностування та розглянуто причини відмов стрілочних переводів і існуюча система технічного обслуговування.

В третьому розділі розроблено засоби для підвищення ефективності контролю стрілочних переводів під час їх експлуатації та зменшення часу на їх технологічне обслуговування в різних системах електричної централізації по кривих споживання струму стрілкою, зокрема для релейних централізацій з «класичними» панелями живлення, релейних централізацій з сучасними панелями живлення та для мікропроцесорних централізацій.

В четвертому розділі виконано аналіз різних методів автоматичного визначення відмов в стрілочних переводах, зокрема часовий аналіз, частотний аналіз, метод інтегралів, метод нейронних мереж, та взаємкореляційний метод. Для взаємкореляційного методу за допомогою математичного пакету MathLab була розроблена програма для відтворення кривих споживання струму і розрахунку коефіцієнтів кореляції а також створена таблиця та механізм їх використання для автоматичного діагностування

Ключові слова: СТРІЛОЧНІ ПЕРЕВОДИ, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ, ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ, КОЕФІЦІЄНТИ КОРЕЛЯЦІЇ, КРИВА СПОЖИВАННЯ СТРУМУ

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз сучасних систем діагностування та контролю.....	9
1.1 Технічне обслуговування пристроїв СЦБ України характеристика та класифікація систем електричної централізації.....	11
1.2 Системи діагностики та контролю на українській залізниці.....	12
1.3 Методи технічного обслуговування пристроїв ЗАТ	18
1.4 Постановка задачі.....	26
1.5 Висновки до першого розділу.....	28
2 Методи та засоби технічної діагностики стрілочних переводів.....	30
2.1 Діагностування пристроїв автоматики	30
2.2 Вибір об'єктів діагностування та контролю електричної централізації ...	36
2.3 Причини виникнення відмов в стрілочних переводах та двигунах	43
2.4 Способи обслуговування стрілок	46
2.5 Висновки до другого розділу	50
3 Розробка засобів автоматичного контролю стану стрілок в різних системах електричної централізації	51
3.1 Структура системи контролю стрілочних переводів і електродвигунів ...	51
3.2 Використання шафи гарантованого електроживлення ШВРП-ЕЦ фірми «Імпульс» для діагностування стрілок.....	54
3.3 Контроль стану стрілочного переводу в мікропроцесорних централізаціях..	55
3.4 Висновки до третього розділу.....	58
4 Розробка методів автоматичної обробки інформації про стан стрілочних переводів	60

4.1 Часовий аналіз відмов за кривою споживання струму стрілкою.....	60
4.2 Частотний аналіз відмов стрілочного двигуна.....	62
4.3 Порівняння кривих споживання струму методом допустимих значень та методом інтегралів або площин.....	65
4.4 Застосування нейромережових технологій для діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму	69
4.5 Діагностування стрілочних переводів методами кореляції.....	74
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	80
Висновки.....	82
Перелік посилань.....	83

ВСТУП

При зростанні обсягу вантажних перевезень та інтенсивності руху поїздів виникає необхідність оперативного збільшення пропускної спроможності залізничного транспорту. З цією метою доцільно нарощувати обсяг перевезень, підвищувати швидкість руху та збільшувати вагу поїздів. Одним із ключових напрямів удосконалення залізничної інфраструктури є підвищення пропускної та транспортної спроможності шляхом спорудження додаткових колій, електрифікації окремих ділянок і запровадження сучасних засобів автоматики та телемеханіки для управління рухом поїздів.

У цьому контексті багато залізничних ліній оснащуються системами автоблокування та диспетчерської централізації, а все ширше впроваджується обладнання для електричної централізації. Також заплановано перехід до автоматизації ведення поїздів та управління всією транспортною системою на залізничних магістралях, паралельно з автоматизацією процесів сортування вагонів на великих сортувальних станціях.

Системи автоматики та телемеханіки повинні не лише забезпечувати високу пропускну спроможність, а й гарантувати безпеку руху поїздів як на перегонах, так і на станціях. Найсучаснішим типом засобів управління рухом поїздів на станціях є електрична централізація стрілок і сигналів. Засоби електричної централізації, окрім керівних функцій, виконують і функції блокування. Відповідно до вимог Правил технічної експлуатації залізничних колій України (ПТЕ), ці системи підвищують безпеку руху поїздів, забезпечуючи взаємне блокування стрілок і сигналів. Вони унеможливають відкриття сигналів, відповідних до маршруту, у випадках, коли стрілки не встановлені у потрібне положення.

Водночас відмови у системах електричної централізації спричиняють значні затримки руху поїздів, що потребує мінімізації кількості таких збоїв. Одним із компонентів, що вимагає зниження частоти відмов, є стрілка електричної централізації, збої у функціонуванні якої призводять до суттєвих затримок. У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка додаткових систем діагностики стану стрілок.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ

Наразі на мережі залізничних шляхів для реалізації технічної діагностики систем залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ) рекомендовано впровадження мікропроцесорних систем диспетчерського контролю, таких як АПК-ДК, АСДК і АДК-СЦБ.

Системи діагностики лінійної частини об'єктів ЗАТ класифікуються на стаціонарні, мобільні, портативні.

Стаціонарні системи діагностики поділяються на спеціалізовані, призначені для аналізу окремих типів обладнання ЗАТ (наприклад, рейкових кіл, кабельних систем, пристроїв енергоживлення тощо), і універсальні, які виконують комплексну перевірку систем ЗАТ.

Стаціонарні системи можуть бути розподіленими, коли окремі елементи системи розташовані в різних місцях і взаємодіють через канали передачі даних (дистанційна діагностика), або локальними, що працюють у межах одного вузла.

Мобільні системи діагностики монтуються на рухомий склад (лабораторні вагони, дрезини) або автотранспорт і застосовуються у випадках, коли стаціонарні системи недоцільні через економічні чи технологічні обмеження.

Портативні комплекси діагностики, реалізовані на основі переносних персональних комп'ютерів, використовуються для оперативного пошуку несправностей і виконання ремонтно-відновлювальних заходів.

До складу розподілених систем діагностики можуть входити модулі логічного контролю функціонування обладнання ЗАТ та модулі моніторингу, а також підсистеми вимірювання параметрів і допускового контролю і засоби комунікації, крім цього інструменти для обробки, відображення і зберігання даних й програмне забезпечення для виконання прикладних задач.

За способом передачі даних системи бувають спорадичними, циклічними та комбінованими.

Залежно від можливості розширення функцій і модулів системи класифікуються на масштабовані та немасштабовані.

Системи АПК-ДК, АСДК і АДК-СЦБ побудовані за загальними принципами: вони є стаціонарними, розподіленими системами для комплексного діагностування систем ЗАТ. Вони характеризуються багаторівневою ієрархічною структурою, здатністю до масштабування, а також використовують циклічний запит стану об'єктів. Інформація збирається на станціях із сигнальних точок перегонів за допомогою частотного поділу повідомлень. Передача даних зі станцій на центральний пост здійснюється через часовий поділ однойменних повідомлень та частотний поділ станцій. Центральний пост з'єднаний зі станціями і сигнальними точками перегонів одним фізичним каналом.

Класифікація об'єктів діагностики

До першої групи належать пристрої, які мають недостатньо високий рівень надійності та потребують повноцінної діагностики у режимі реального часу. До таких пристроїв відносяться рейкові кола, світлофори, стрілки, енергопостачальні пристрої, кабельні мережі, апаратура автоблокування, переїзна та загороджувальна сигналізація, шлагбауми, тунельна і мостова сигналізація, підлогові пристрої АЛС і САУТ, а також системи контролю технічного стану рухомого складу.

До другої групи відносяться пристрої з високою надійністю, що потребують часткової перевірки параметрів (постові пристрої ЗАТ).

Третя група це обладнання з вбудованими функціями самодіагностики, резервуванням компонентів і автоматичним перемиканням при збоях (мікропроцесорні системи).

Особливості технічного обслуговування

У сфері експлуатації систем ЗАТ широко застосовується регламентне обслуговування, але перехід на обслуговування "за станом" вимагає точного діагностичного обладнання, що пов'язане з технічними труднощами та

фінансовими витратами. Зменшення впливу "людського фактору" на ефективність пристроїв є важливим завданням.

Запровадження диференційованого підходу до періодичності обслуговування, що враховує інтенсивність використання пристроїв ЗАТ, знижує витрати на експлуатацію і підвищує безпеку.

1.1 Технічне обслуговування пристроїв СЦБ України характеристика та класифікація систем електричної централізації

Головним завданням при обслуговуванні пристроїв електричної централізації є забезпечення стабільного й безперебійного функціонування системи централізації стрілок і сигналів за мінімальних витрат часу, праці та фінансових ресурсів. Надійна дія електричної централізації досягається завдяки раціональній організації праці обслуговуючого персоналу, впровадженню сучасних методів технічного обслуговування та ремонту, а також ефективній взаємодії між різними службами, відповідальними за експлуатацію пристроїв.

Необхідність технічного обслуговування обумовлена тим, що під час експлуатації під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів змінюються характеристики пристроїв, що може призводити до їх відмов. Види робіт, їх періодичність і технологія виконання визначаються відповідно до положень Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування та Інструкції щодо забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з утримання та ремонту пристроїв СЦБ.

Перевірка залежностей і правильності функціонування пристроїв СЦБ, а також їх введення в дію після ремонту або інших робіт, що пов'язані зі зміною залежностей, має виконуватись висококваліфікованими спеціалістами не нижче посади старшого електромеханіка СЦБ. Основними видами робіт з технічного обслуговування є перевірка залежностей пристроїв відповідно до вимог ПТЕ, перевірка дії, огляд, вимірювання параметрів і характеристик із їх подальшим приведенням до норми, регулювання, чищення, змащення,

фарбування, заміна зношених деталей та вузлів. Також проводиться планова заміна приладів, які підлягають ремонту та перевірці в ремонтно-технологічній дільниці (РТД), відновлення працездатності пристроїв у разі виникнення відмов, роботи з підвищення надійності й поточний ремонт. Зазвичай технічне обслуговування проводиться без виведення пристроїв із системи залежностей.

Планові ремонтні роботи передбачають розбирання обладнання, перевірку, відновлення або заміну зношених деталей, складання, вимірювання параметрів і характеристик, регулювання та випробування апаратури й устаткування. Ремонтні роботи зазвичай виконуються в РТД або спеціалізованих майстернях дистанції.

Серед недоліків традиційного підходу до обслуговування варто зазначити значну трудомісткість процесів, високі затрати часу, а також обмежені можливості безперервного моніторингу для своєчасного виявлення потенційних дефектів і пошкоджень. Окрім цього, складно ідентифікувати приховані дефекти, що залишаються непоміченими під час візуальних оглядів, а результати часто залежать від суб'єктивного фактору, що знижує точність і достовірність отриманих даних.

1.2 Системи діагностики та контролю на українській залізниці

Автоматичний диспетчерський контроль – сигналізація, централізація та блокування (АДК – СЦБ)

Система АДК-СЦБ розроблено як об'єктно-орієнтований комплекс, що базується на вимірювально-обчислювальних засобах ІВК-АДК. Програмно-апаратні компоненти ІВК-АДК забезпечують автоматизацію контролю стану та динаміки змін сигналів, вимірювання їх аналогових параметрів і характеристик, перевірку відповідності нормативним вимогам, а також логічний контроль роботи пристроїв. Ці функції задовольняють потреби систем автоматизації в інформації для управління, моніторингу,

обслуговування, ремонту, тестування окремих пристроїв і їх комплексів, а також калібрування вимірювальних каналів.

ІВК-АДК використовує промислові мікроконтролерні модулі введення даних, які формують підсистеми з розподіленим, централізованим або комбінованим розміщенням периферійних модулів. Ці модулі взаємодіють через мережеві інтерфейси – як спеціалізовані, так і стандартні. Модулі аналогового введення забезпечують обробку аналогових сигналів, тоді як дискретні модулі відповідають за обробку цифрових сигналів.

До складу станційного комплексу АДК-СЦБ входять блоки промислового комп'ютера, автоматичні блоки (БА1, БА2), центральні блоки зв'язку, модулі для автоматизації вимірювань опору ізоляції, блоки локальної мережі, системи безперебійного живлення та зв'язкові блоки для передачі результатів діагностики у зовнішні системи, такі як КДК-ШЧД, ДДЦ-ТДМ чи інші автоматизовані робочі місця (АРМ). Додатково передбачена інтеграція АРМів диспетчерського, оперативного та обслуговуючого персоналу до інформаційної мережі.

АРМи і локальні підсистеми формують станційну інформаційну мережу, яка може взаємодіяти з більш складними структурами, наприклад, КДК-ШЧД чи ДДЦ-ТДМ, для обробки та передачі діагностичної інформації на рівень департаменту автоматики й телемеханіки. Таким чином, система забезпечує автоматизацію діагностики пристроїв ЗАТ на станціях лінійного рівня СТДМ.

Водночас сучасна стратегія розвитку СТДМ передбачає автоматизацію діагностування, моніторингу й обслуговування пристроїв не лише на станціях, але й на перегонах. Це необхідно для передачі інформації в дорожні діагностичні центри (ДДЦ-ТДМ) про стан пристроїв на магістралях і ділянках залізниць. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні нового класу системи автоматизації діагностики та моніторингу перегінних пристроїв, які інтегруються зі станційними комплексами АДК-СЦБ.

Концепція побудови комплексу перегінних пристроїв (ПК АДК-СЦБ) включає такі ключові принципи: розподілене розміщення апаратури у

релейних шафах, модульний підхід, уніфікація перегінних блоків, сумісність програмного забезпечення та протоколів обміну даними з системами СК АДК-СЦБ і ДДЦ-ТДМ, автоматизація пошуку несправностей і прогнозування відмов, а також підтримка інтеграції з сучасними мікропроцесорними пристроями. Крім того, система повинна базуватися на сучасній елементній базі та забезпечувати використання універсальних мікромодулів введення, виведення й перетворення даних.

ПК АДК-СЦБ використовує новітні вимірювально-обчислювальні засоби ІВК-ТДМ, які забезпечують збір, обробку, вимірювання і передачу даних перегінних пристроїв на станційні комплекси. Завдяки цьому реалізується автоматизація технічного діагностування, централізація моніторингу перегінних пристроїв у СК АДК-СЦБ або ДДЦ-ТДМ, що дозволяє значно підвищити ефективність роботи системи.

Однак, незважаючи на переваги, основним недоліком цієї системи є обмежена інтеграція з вищими рівнями диспетчерського управління. Інформація передається переважно на станційний рівень, без безпосередньої передачі диспетчерам вищого рівня, що створює прогалини у зв'язку із централізованими системами управління.

Автоматизована система диспетчерського контролю (АСДК)

Автоматизована система диспетчерського контролю АСДК «ГТСС – Сектор» являє собою апаратно-програмний комплекс (АПК АСДК), який забезпечує контроль стану вузлів і пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку, вільності та зайнятості рейкових ланцюгів, поїзних пересувань, роботи переїздів, світлофорів та інших елементів залізничної інфраструктури.

Система умовно поділяється на підсистеми верхнього та нижнього рівнів. Об'єктами контролю АСДК виступають пристрої електричної централізації (ЕЦ) на станціях і пристрої інтервального регулювання руху поїздів на перегонах.

Підсистема нижнього рівня складається з електричних датчиків, що контролюють технічні засоби (реле постових і перегінних пристроїв,

вимірювальні панелі рейкових ланцюгів тощо), і контролерів диспетчерського контролю (КДК). Контролери збирають цифрову та аналогову інформацію, обробляють її та передають у мережу АСДК.

Контролер КДК – це багатопроцесорна система, побудована за магістрально-модульним принципом. Він підтримує контроль дискретних пристроїв, аналогових сигналів, таких як напруга живлення або параметри релей рейкових кіл, включаючи тональні. Контролери КДК випускаються в двох варіантах: для приладових каркасів і для релейних штативів.

Підсистема верхнього рівня здійснює маршрутизацію та обробку інформаційних потоків, отриманих від КДК, а також зв'язок із зовнішніми обчислювальними системами (наприклад, АСОУП і автоматизованою системою служби СЦБ, АС-Ш). До її складу входять автоматизовані робочі місця (АРМи) для диспетчерів різного профілю, інженерів, чергових і електромеханіків.

АРМи підтримують єдиний протокол обміну, дозволяють відобразити інформацію у вигляді мнемосхем, виконувати логічний контроль стану пристроїв, реєструвати системні протоколи, сигналізувати про аварійні ситуації та виконувати налаштування параметрів. Мережа системи функціонує також як електронна пошта та дозволяє підключати АРМи інших розробників.

Функціональні можливості та переваги системи

Система АСДК автоматизує диспетчерський контроль станційних і перегінних пристроїв, забезпечує діагностику, моніторинг і централізоване обслуговування. Вона дозволяє:

- підвищити безпеку руху поїздів завдяки ранньому виявленню передвідмовних станів;
- зменшити час на усунення несправностей, скоротивши непродуктивні затримки поїздів;
- прискорити оборот вагонів, підвищивши дільничну швидкість;
- покращити якість аналізу несправностей та зменшити ризик порушення роботи через технічні збої.

Наприклад, система дозволяє діагностувати причини збоїв у сигнальних установках через зниження напруги живлення або попереджати збої через перегорання ламп у світлофорах, завчасно інформуючи електромеханіка.

Апаратно-програмний комплекс автоматизованого робочого місця електромеханіка (АРМ ШНЦ) використовується для збору, обробки й реєстрації інформації про стан пристроїв ЕЦ, поїзні пересування та їх параметри. Його основна мета – підвищення ефективності обслуговування пристроїв ЕЦ, зменшення витрат на їх експлуатацію завдяки вчасному отриманню інформації про стан і потенційні несправності.

АРМ ШНЦ може працювати як автономно, так і в інтеграції з системою АСДК.

Попри значні переваги, система АСДК має кілька суттєвих обмежень. По-перше, моніторинг стану рухомих одиниць здійснюється лише у фіксованих точках, що зумовлює її стаціонарність і обмежує можливості безперервного контролю. По-друге, точність системи є недостатньою: наприклад, виявлення перегрітих букс сягає лише 95%, а загальна достовірність інформації становить 94%. По-третє, система не дозволяє виконувати динамічний аналіз, тобто відстежувати зміни параметрів у реальному часі. Додатково, дистанційний контроль температури букс залежить від погодних умов і може бути порушений через забруднення корпусу, що є серйозним недоліком. Також виникають труднощі з налаштуванням та забезпеченням вібростійкості підлогового обладнання. Використання провідного зв'язку створює ризики, пов'язані з можливим обривом ліній, що впливає на надійність передачі даних. Крім того, система не забезпечує завадостійкість сигналу, що робить її чутливою до впливу електромагнітних перешкод і може спричинити збої у передаванні інформації.

Система АСДК залишається важливим елементом автоматизації та підвищення безпеки на залізничному транспорті, але потребує подальшого вдосконалення для усунення недоліків і підвищення ефективності її використання.

Апаратно-програмний комплекс диспетчерського контролю (АПК-ДК)

Апаратно-програмний комплекс диспетчерського контролю (АПК-ДК) є сучасною і технологічно вдалою реалізацією функцій диспетчерського контролю, яка відповідає сучасним технічним вимогам. Використання обчислювальної техніки значно розширило функціональні можливості цієї системи, дозволивши не тільки забезпечити ефективний контроль для поїзного диспетчера, але й вирішувати основні завдання моніторингу технічного стану засобів системи залізничної автоматики і телемеханіки (ЗАТ) як на станціях, так і на перегонах диспетчерської ділянки. Завдяки цьому система АПК-ДК має подвійне призначення.

По-перше, вона забезпечує оперативне зняття інформації із сигнальних точок перегонів про стан рейкових ділянок, світлофорів та інших технічних засобів з передачею цих даних на станції. Ця інформація використовується для контролю положення поїздів і діагностування технічного стану перегінних пристроїв. По-друге, система дозволяє отримувати інформацію про стан колійних об'єктів і технічних засобів безпосередньо на станціях, передаючи ці дані поїзному диспетчеру та диспетчеру дистанції сигналізації, зв'язку й обчислювальної техніки.

Крім збору і передачі даних, АПК-ДК виконує їх обробку й відображення для користувачів. Це включає відображення виконуваного графіка руху поїздів, прогнозування графіка на основі поточного положення поїздів, розрахунок показників роботи дільниці, логічний контроль стану пристроїв і визначення помилкових сигналів. Система також дозволяє архівувати події, виконувати аналіз причин відмов, оптимізувати їх усунення і вести статистику використання технічних ресурсів.

На станціях, які формують перший (нижній) рівень управління перевізним процесом, виконується збір, перетворення і концентрація інформації про стан перегінних і станційних пристроїв. Зібрані дані можуть відображатися на автоматизованих робочих місцях (АРМ) чергового по станції або електромеханіка, але обов'язково передаються на другий рівень управління –

поїзному диспетчеру та диспетчеру дистанції сигналізації, зв'язку й обчислювальної техніки.

Контроль стану перегінних пристроїв ЗАТ здійснюється за допомогою автоматів контролю сигнальних точок (АКСТ), які базуються на спеціалізованих контролерах. Найбільш поширеним є блок АКСТ-СЧМ, що генерує циклічні восьмиімпульсні частотні сигнали. Ці сигнали передаються через лінії зв'язку й дозволяють контролювати стан шести дискретних і двох порогових датчиків. Для позначення стану датчиків використовуються різні тривалості імпульсів і пауз: один такт відповідає нормальному стану параметра, два такти – ненормальному, а тривалість пауз і розділових інтервалів визначає стан контактів.

Хоча АПК-ДК виконує ефективний контроль параметрів технічних засобів, її ключовим недоліком є відсутність функцій діагностики та прогнозування. Система не здійснює аналізу змін аналогових величин і не може прогнозувати відмови або технічний ресурс пристроїв. Розширення функціональних можливостей системи шляхом додавання діагностичних і прогностичних модулів дозволить покращити технічне обслуговування, забезпечуючи своєчасну профілактику несправностей і підвищуючи загальну надійність роботи залізничної інфраструктури.

1.3 Методи технічного обслуговування пристроїв ЗАТ

Для забезпечення надійності й безпеки експлуатації пристроїв і систем залізничної автоматики й телемеханіки (ЗАТ) необхідно дотримуватися відповідних технічних заходів. У релейних системах ЗАТ надійність досягається завдяки використанню реле першого класу надійності в ключових ланцюгах та застосуванню схемних рішень, які перевіряють виконання умов безпеки під час реалізації технологічних операцій. У комп'ютерних системах ЗАТ впроваджуються пристрої на мікропроцесорній основі, які завдяки використанню сучасної елементної бази, засобів самоконтролю та резервування окремих вузлів, демонструють значно вищий рівень надійності.

Підтримка безвідмовності систем ЗАТ здійснюється шляхом організації технічного обслуговування (ТО), яке може бути реалізоване за кількома підходами. Перший підхід передбачає роботу пристрою до відмови, без істотного обслуговування. Він є економічним, але застосовується лише у випадках, коли пристрій не виконує критичних функцій або забезпечений повним резервуванням. Другий підхід базується на обслуговуванні через фіксовані часові інтервали. Цей підхід потребує ретельного планування, значних ресурсів і залучення спеціалізованих бригад, але може бути неефективним, оскільки ТО може бути виконане або занадто пізно (після відмови), або передчасно. Третій, найбільш сучасний підхід, ґрунтується на обслуговуванні за фактичним станом пристрою. Він вимагає використання засобів діагностики для моніторингу поточного стану параметрів обладнання, що дозволяє максимально використовувати ресурс пристрою і виконувати ремонт або заміну лише за необхідності.

Перехід до обслуговування за фактичним станом потребує впровадження безперервного контролю функціональних вузлів за допомогою вбудованих або додаткових засобів технічного діагностування і моніторингу (ТДМ). Використання таких засобів у релейній техніці є складним і витратним, а повна заміна на мікропроцесорні системи є тривалим процесом. Тому надбудовні засоби ТДМ стають актуальним рішенням, що дозволяє здійснювати діагностику без значних змін у вже існуючих системах.

Системи ТДМ класифікуються за типом діагностування і рівнем участі людини у процесі. За типом діагностування виділяють робочі та тестові системи. Робочі системи проводять діагностику без відключення обладнання, обмежуючись пасивним прийомом інформації. Тестові системи вимагають короткочасного відключення об'єкта і подачі спеціальних сигналів для оцінки його стану. Існують також гібридні системи, які поєднують обидва підходи.

За рівнем участі людини системи поділяються на ручні, автоматизовані та автоматичні. Ручні системи потребують значного втручання людини, автоматизовані передбачають часткову участь оператора, а автоматичні

системи виключають вплив людського фактора, забезпечуючи найвищу точність і надійність.

Сучасні системи ТДМ ЗАТ належать до робочих систем діагностування. Вони виконують аналіз технічного стану пристроїв, контролюючи параметри й виявляючи відхилення від норми. Хоча такі системи не є досконалими, вони дозволяють уникнути впливу людських помилок на об'єкти управління й виконують низку важливих завдань. Зокрема, це контроль технічного стану пристроїв ЗАТ, зменшення кількості відмов завдяки виявленню передвідмовних станів, контроль якості виконання ТО, скорочення часу на пошук несправностей, а також архівація подій і збір статистики.

Таким чином, впровадження ТДМ створює передумови для переходу на обслуговування пристроїв за їх фактичним станом, що дозволяє ефективніше використовувати ресурси, знижувати витрати на обслуговування і забезпечувати високу надійність залізничної автоматики і телемеханіки.

Децентралізований метод експлуатуючої організації ТО застосовується на лінійних виробничих ділянках сигналізації і зв'язку, де обслуговування пристроїв ЗАТ здійснюється бригадами. Цей метод є основним у господарствах ЗАТ залізниць і рекомендований методичними указами для ділянок з інтенсивним рухом поїздів, де спостерігається висока концентрація пристроїв. На таких ділянках затримки руху поїздів, викликані відмовами систем ЗАТ, можуть спричинити значні матеріальні втрати та негативні соціальні наслідки. У таких умовах ТО має бути планово-попереджувальним, спрямованим на запобігання можливим відмовам пристроїв.

Централізований метод ТО пристроїв ЗАТ, або централізоване обслуговування, здійснюється спеціалізованими бригадами дистанцій сигналізації та зв'язку. Ці бригади можуть обслуговувати пристрої на кількох ділянках, а при вузькій спеціалізації — всі пристрої одного типу. Такий метод є ефективним для ділянок з розвиненою автомобільною інфраструктурою, яка дозволяє мінімізувати час доставки бригад до місць обслуговування за наявності достатньої кількості автотранспорту. Також централізоване

обслуговування може бути доречним на малодоступних ділянках, де затримки руху поїздів мають менший вплив, порівняно з інтенсивними ділянками.

Існуюча технологія ТО пристроїв СЦБ ґрунтується на суворому виконанні Інструкції відповідно до встановлених графіків, які регламентують періодичність і види робіт. Основою такої технології є планово-попереджувальний метод ТО. Електромеханіки СЦБ виконують передбачені графіком роботи, дотримуючись технологічних карт. Контроль і вимірювання параметрів пристроїв СЦБ включає такі види робіт: спостереження за сигналами, запис їхньої форми, вимірювання параметрів сигналів, напруги, струму, опору, частоти змінного струму, кодових і модульованих сигналів, опору ізоляції електричних ланцюгів, часових параметрів. Також передбачається формування стабілізованої постійної напруги або струму.

З урахуванням різноманітності систем, що обслуговуються, включно з новими мікропроцесорними системами, які впроваджуються на станціях і перегонах, значно зростає обсяг функцій контролю та вимірювань параметрів. Це створює необхідність використання сучасних вимірювальних технічних засобів для забезпечення високої ефективності і точності обслуговування.

Забезпечення заданого рівня якості функціонування пристроїв ЗАТ вимагає розроблення систем технічної діагностики (СТД) і комплексів контролю (СК). Їхнє впровадження дає змогу виявляти передвідмовні стани контрольованого об'єкта (КО), що суттєво зменшує кількість небезпечних і критичних відмов технічних засобів залізничної автоматики. Як наслідок, скорочується час, який витрачає обслуговувальний і ремонтний персонал у небезпечних зонах, зокрема на коліях, що одночасно підвищує якість виконуваних робіт [12]. Одночасно зменшується тривалість вимушених затримок рухомого складу через проведення профілактичних та ремонтних заходів. Це набуває особливого значення в умовах переходу до безлюдних технологій експлуатації пристроїв ЗАТ.

Забезпечення високого рівня достовірності інформації про транспортні процеси стає можливим завдяки впровадженню спеціалізованих методів

вимірювання початкової інформації. Зазначені методи мають враховувати специфіку функціонування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ).

Найбільш складним процесом в обслуговуванні пристроїв СЦБ залишається регулювання, перевірка й приймання приладів у ремонтно-технологічних підрозділах (РТП) дистанції. Наразі цей процес автоматизується за допомогою спеціалізованих вимірювальних стендів, оснащених електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ). Використання сучасних технічних засобів сприяє перегляду нормативних документів щодо регламенту обслуговування, що створює передумови для збільшення ресурсу експлуатації обладнання. Це змінює частоту технічного обслуговування й ремонту пристроїв ЗАТ, які проходять через РТП.

Впровадження автоматизованих робочих місць (АРМ) систем технічної діагностики дозволяє не тільки підвищити ефективність роботи регулювальників та приймальників апаратури, але й суттєво знизити вплив людського фактора під час оцінки технічного стану об'єкта діагностування (ОД). Такі завдання, з огляду на їхню складність, можуть бути виконані виключно на основі алгоритмів і методів удосконалення контролю та автоматизації діагностичних процесів пристроїв СЦБ.

Розвиток систем диспетчерського контролю (ДК) та централізації (ДЦ) значно підвищив оперативність передачі необхідної інформації відповідним службам. Недостатній обсяг даних про стан пристроїв СЦБ вимагає інтеграції у них систем контролю технічного стану, реалізованих на сучасній елементній базі.

Переведення пристроїв СЦБ на сучасну елементну базу, впровадження новітніх принципів побудови рейкових ланцюгів і обладнання ЗАТ вимагає розроблення портативних та високотехнологічних приладів для оперативного визначення технічного стану потрібних об'єктів. Основними вимогами до таких мобільних комплексів є низьке енергоспоживання, універсальність, компактність, мала маса й висока достовірність отриманих результатів. Ці

прилади можуть використовуватися як на рухомому транспорті, так і на стаціонарних об'єктах залізничної інфраструктури.

Стаціонарні, мобільні та розподілені системи діагностики й контролю повинні функціонувати в рамках єдиного інформаційного простору. Інформація, що надходить від різних систем, має акумулюватися у пунктах концентрації даних і бути доступною для всіх акредитованих користувачів. Розвиток мережевих технологій, зокрема стільникового, радіо- та супутникового зв'язку, сприяє реалізації цієї можливості. Уніфіковане представлення даних забезпечує інтеграцію різнорідних систем в єдину структуру. Це дозволяє отримувати повну й достовірну інформацію про технічний стан пристроїв СЦБ, об'єднувати оперативний аналіз і тлумачення даних, а також прискорювати прийняття критичних рішень на відповідних рівнях управління.

Використання сучасних систем технічної діагностики дає змогу зменшити загальну кількість відмов пристроїв ЗАТ, серед яких нерідко трапляються захисні збої. Це досягається за рахунок аналізу інформації про передвідмовні стани окремих блоків і систем загалом. Прогнозування технічного стану на основі цих даних та впровадження превентивних заходів дозволяє підвищити рівень безпеки.

Оскільки станційні системи СЦБ створені на базі однотипних блоків і компонентів, це надає можливість комплексного вирішення завдань діагностики, базуючись на єдиній теоретичній основі та методах оцінювання працездатності.

На підставі викладеного можна стверджувати, що необхідний детальний аналіз процесів, що відбуваються у пристроях СЦБ під час їхньої експлуатації, а також причин виникнення відмов. Необхідно розробляти ефективні та надійні методи й алгоритми діагностування та ідентифікації стану контрольованих об'єктів, доповнені подальшим удосконаленням високоточних і швидкодіючих методів вимірювання.

Сучасний рівень розвитку технічних засобів дозволяє усунути обмеження щодо кількості вимірюваних параметрів і вимагає вдосконалення методів їх обробки, що є особливо актуальним для діагностики електронних пристроїв СЦБ.

Програма оновлення та розвитку засобів залізничної автоматики та телемеханіки (ЗАТ) визначила ключові вимоги до системи технічної діагностики та моніторингу (СТДМ). Вона має передбачати розроблення сучасних систем, що інтегрують як вбудовані, так і зовнішні засоби автоматизації процесів діагностування та моніторингу обладнання. Такі системи повинні сприяти впровадженню технологій, які мінімізують вплив людського фактора при обслуговуванні пристроїв ЗАТ на об'єктах залізничної інфраструктури. Це можливо завдяки централізації даних, отриманих у процесі автоматизованої діагностики. Одночасно передбачається створення спеціалізованої мережі контрольно-діагностичних комплексів на рівні дистанцій ШЧ із автоматизацією робочих місць електромеханіків, диспетчерів і управлінського персоналу (зокрема ШЧУ, ШЧГ і ШЧ).

Система також має забезпечувати можливість обслуговування пристроїв на основі результатів автоматизованого діагностування їхнього стану, що сприятиме підвищенню ефективності робіт і скороченню впливу людських помилок. Окремий акцент робиться на автоматизації контролю дій персоналу, який взаємодіє із засобами, що мають критичне значення для забезпечення безпеки руху, як під час технічного обслуговування, так і під час відновлювальних робіт.

Важливою складовою є моніторинг стану пристроїв і результатів діагностування на рівні дистанцій ШЧ, диспетчерів, регіональних центрів управління процесами (РЦУП), а також на рівні мережевих органів, таких як Центральна служба (ЦШ) чи Проектно-конструкторське та технологічне бюро (ПКТБ). Програма також передбачає організацію сервісного й фірмового обслуговування обладнання та систем ЗАТ, що дозволить забезпечити високий рівень надійності та експлуатаційної готовності.

Постановка цих завдань зумовила створення чотирирівневої архітектури СТДМ. На першому рівні здійснюється інтеграція локальних систем діагностики на рівні станцій і перегонів. На другому рівні інформація передається до дистанцій ШЧ, де відбувається її первинна обробка. Третій рівень передбачає створення серверів діагностики та моніторингу в регіональних центрах (ДДЦ-ТДМ), а на четвертому, мережевому рівні, інформація обробляється та використовується в ЦШ і ПКТБ для ухвалення стратегічних рішень. Така архітектура забезпечує інтеграцію всіх рівнів діагностичних систем у єдиний інформаційний простір, що дозволяє підвищити оперативність і точність управління процесами технічного обслуговування.

Вибір параметрів діагностування та контролю в станційних системах автоматики

Усі контрольовані об'єкти систем залізничної автоматики поділяються на кілька функціональних груп, кожна з яких характеризується певними типами несправностей, притаманними виключно об'єктам цієї групи.

До першої групи належать рейкові кола, які можуть демонструвати такі відмови: відхилення напруги, помилкова зайнятість чи вільність, а також пробій ізолюючого стику. Наступна група охоплює системи кодування блоків ділянок та маршрутів, де характерними несправностями є відхилення параметрів кодових сигналів або їхня повна відсутність. Третя група включає централізовані стрілки, які можуть вийти з ладу через втрату контролю, збільшення часу переключення, відхилення напруги двигуна або зниження опору ізоляції.

До наступної групи відносяться світлофори, з помилковими відмовами у перекритті сигналу або збільшенням часу на перекриття. Для групи, що контролює витримку часу скасування маршрутів, характерними несправностями є скасування з вільної ділянки, поїзне скасування, маневрове скасування або штучне оброблення. Система живлення станційних пристроїв може демонструвати такі збої, як відхилення параметрів напруги, струму

заряду чи навантаження, а також втрату контролю. У свою чергу, група, що відповідає за ізоляцію, може реєструвати несправності у вигляді відхилення опору або спрацьовування сигналізатора заземлення. Остання група — це відмови за дискретними сигналами, які включають несправності, пов'язані з розрізом стрілки, перегоранням запобіжників, аваріями схем контролю запобіжників чи несправністю переїзду.

Повне охоплення всіх об'єктів та вузлів контролю потребує значної кількості датчиків, що значно збільшить вартість і складність системи діагностики. Окрім того, час обробки запитів може суттєво зрости через великий обсяг інформації. У таких умовах актуальним завданням стає визначення пріоритетних об'єктів для моніторингу.

Для цього доцільно виділити критично важливі об'єкти, несправності яких найсуттєвіше впливають на безпеку та ефективність руху. До таких об'єктів можуть бути віднесені:

- рейкові кола, через їхню безпосередню роль у визначенні стану колійного маршруту;
- централізовані стрілки, що впливають на безпечне переведення маршрутів;
- системи живлення станційних пристроїв, збої яких можуть спричинити масові відмови обладнання;
- дискретні сигнали, які сигналізують про критичні аварійні події, такі як перегорання запобіжників чи несправності переїздів.

Цей підхід дозволить оптимізувати витрати на обладнання системи діагностики, зменшити час обробки запитів та водночас забезпечити моніторинг найважливіших параметрів для гарантування безпеки залізничного руху.

1.4 Постановка задачі

Актуальність роботи. Для забезпечення надійної роботи систем регулювання руху поїздів нормативними документами передбачено

періодичне технічне обслуговування, яке включає контроль основних параметрів апаратури та її регулювання. Це здійснюється як під час експлуатації пристроїв, так і в ремонтно-технологічних дільницях дистанцій сигналізації та зв'язку. Однак, існуюча технологія обслуговування станційної автоматики має суттєві недоліки. Зокрема, вона передбачає значні витрати часу і ручної праці, не забезпечує безперервного моніторингу технічного стану та своєчасного виявлення можливих дефектів. Також відсутня можливість діагностування деяких прихованих несправностей, а результати контролю часто характеризуються суб'єктивністю та недостатньою точністю, що обумовлено візуальними методами реєстрації. Усі ці чинники негативно впливають на ефективність організації руху поїздів на станціях.

З огляду на значну кількість об'єктів станційної автоматики, що функціонують на залізницях України, існуюча технологія обслуговування спричиняє не лише високі експлуатаційні витрати, але й зниження пропускної здатності ділянок, що стає особливо критичним за умов впровадження швидкісного руху.

Подальше підвищення ефективності технічного обслуговування пристроїв станційної автоматики та зменшення експлуатаційних витрат можливе шляхом автоматизації контролю параметрів цих пристроїв. Організація безперервного моніторингу їх технічного стану дозволить своєчасно виявляти дефекти, визначати їх характер і локалізацію, що значно підвищить точність і оперативність технічного обслуговування.

Таким чином, автоматизація процесів контролю технічних параметрів пристроїв станційної автоматики є не лише актуальним завданням, але й стратегічним напрямом розвитку. Створення автоматизованих систем контролю, зокрема для стрілочних переводів, сприятиме вдосконаленню існуючої технології, підвищенню надійності функціонування пристроїв та зменшенню витрат на їхнє обслуговування, що, у свою чергу, позитивно позначиться на ефективності роботи залізничного транспорту загалом.

Метою роботи є розробка методів та технічних засобів для підвищення ефективності технологічного обслуговування стрілочних переводів.

Завданням роботи є:

- провести аналіз способів контролю та діагностування стрілочних переводів на залізницях України;

- розробка методів для підвищення ефективності контролю стрілочних переводів під час їх експлуатації та зменшення часу на їх технологічне обслуговування.

- розробка засобів для підвищення ефективності контролю стрілочних переводів під час їх експлуатації та зменшення часу на їх технологічне обслуговування в різних системах електричної централізації.

Об'єкт дослідження – процес технічного обслуговування стрілочних переводів електричної централізації на залізничному транспорті.

Предмет дослідження – методи та засоби покращення технічного обслуговування стрілочних переводів.

Для вирішення поставлених задач застосовано методи вагових коефіцієнтів для визначення пріоритетних параметрів контролю, методи аналізу часових та частотних характеристик струму переводу стрілок для визначення діагностичних ознак їх відмов, застосовано методи інтегралів або площин, використання нейромережевих технологій і взаємкореляційної функції.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі був проведений повний аналіз систем діагностики і контролю. Були розглянуті системи які застосовують на українській залізниці, також наведені методи технічної експлуатації та обслуговування пристроїв залізничної автоматики та телемеханіки, визначені параметри діагностики і контролю в станційних системах. За результатами аналізу можна зробити висновок що жодна система діагностування не контролює в повній мірі стрілочні переводи і є необхідність в розробці окремої системи діагностування.

2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

2.1 Діагностування пристроїв автоматики

Технічна діагностика є галуззю знань, що зосереджується на визначенні поточного стану технічного об'єкта (пристрою, системи), який називається **об'єктом діагностування**. Процес дослідження об'єкта, спрямований на встановлення його стану, називається **діагнозом**. У рамках технічної діагностики досліджуються теоретичні основи, методи організації процесів діагностування та принципи побудови засобів, які забезпечують реалізацію цього процесу. Залежно від цілей, перед технічною діагностикою постають три основні типи завдань: діагноз, прогноз і генез.

Завдання діагностики

Діагноз – це завдання визначення стану об'єкта в конкретний момент часу. Воно виникає під час оцінки працездатності й справності систем, пошуку несправностей, а також під час введення в експлуатацію нового обладнання.

Прогноз – завдання передбачення майбутнього стану технічного об'єкта. Цей тип завдання актуальний для пристроїв залізничної автоматики, телемеханіки та зв'язку, які мають тривалий термін служби. Прогнозування дозволяє визначити періодичність профілактичних ремонтів і перевірок, запобігаючи виходу пристроїв з ладу.

Генез – завдання встановлення стану технічного об'єкта з метою визначення причин відмов і їх подальшого попередження. Це завдання важливе для усунення системних недоліків та забезпечення надійності обладнання.

Об'єкти технічної діагностики

Об'єктами дослідження в технічній діагностиці можуть бути будь-які технічні системи, які відповідають двом ключовим умовам:

- можуть перебувати у двох взаємовиключних станах – працездатному та непрацездатному;

- складаються з елементів, кожен з яких також характеризується цими станами.

Головною особливістю об'єкта технічної діагностики є те, що його загальний стан розглядається як функція, залежна від станів його складових елементів. Наприклад, стрілочний перевод повністю відповідає цим умовам.

Ключові поняття технічної діагностики

Центральним поняттям є **стан об'єкта діагнозу**, який визначається параметрами, що характеризують систему. Параметри поділяються на:

- **основні**, що визначають здатність системи виконувати задані функції;
- **допоміжні**, що описують такі аспекти, як зручність експлуатації, зовнішній вигляд тощо.

У разі діагностування стрілочних переводів основна увага приділяється контролю саме основних параметрів, оскільки допоміжні параметри не мають принципового значення.

Типи станів технічних систем

У технічній діагностиці розрізняють чотири основні типи станів:

- **справний стан** – система відповідає всім заданим вимогам, і всі її параметри перебувають у межах норми.
- **несправний стан** – порушено хоча б один параметр, що виводить систему за межі нормованих значень.
- **працездатний стан** – система виконує свої функції, а її основні параметри відповідають нормам.
- **непрацездатний стан** – вихід хоча б одного основного параметра за межі норм переводить систему до категорії непрацездатних.

Таким чином, **система діагностування стрілочного переводу** повинна забезпечувати вирішення завдань діагнозу, прогнозу та генезу, що дозволить своєчасно визначати стан обладнання, запобігати його виходу з ладу та забезпечувати належну надійність у процесі експлуатації.

Повна множина можливих станів системи

$$W = A \cup B \cup C \quad (2.1)$$

де A - множина станів справних систем;

B - множина станів несправних, але працездатних систем;

C - множина станів систем, що відмовили.

Множина станів працездатних і несправних систем відповідно:

$$W_1 = A \cup B, \quad (2.2)$$

$$W_2 = B \cup C. \quad (2.3)$$

Системи залізничної автоматики спроектовані таким чином, щоб за умов найімовірніших відмов їхніх елементів перехід системи з множини A (справні стани) в множину C (непрацездатні стани) був неможливим. У разі такої відмови система переходить у множину B (працездатні, але несправні стани), продовжуючи виконувати свої основні функції. Це забезпечує можливість фіксації несправності, її усунення та попередження повної втрати працездатності системи.

У рамках технічної діагностики **завдання діагнозу** зводяться до точного визначення стану системи або до встановлення множини станів, серед яких вона перебуває. Виділяють чотири ключові завдання діагнозу, які слід виконувати для забезпечення належного функціонування системи.

Завдання діагнозу

1. **Перевірка справності.** Ця задача спрямована на виявлення будь-якої несправності, яка переводить систему з множини A у множину W_2 (система несправна, але ще працездатна). Це завдання актуальне після ремонту пристроїв залізничної автоматики. Наприклад, під час введення в експлуатацію нового стрілочного переводу перевіряються всі елементи, вузли, електричні ланцюги, джерела живлення й ізоляція. Цей процес є трудомістким, і для його спрощення необхідно використовувати технічну діагностику.

2. Перевірка працездатності. Завданням є виявлення несправностей, які переводять систему з множини $W1$ (справні стани) у множину S (непрацездатні стани). У цьому разі допускається залишати невиявленими ті несправності, які не впливають на можливість використання системи за призначенням. Таке завдання вирішується під час профілактичних оглядів.

3. Перевірка правильності функціонування. Це завдання виконується під час експлуатації системи, дозволяючи оцінити її коректну роботу в конкретному режимі й у конкретний момент часу. Водночас система, яка правильно працює в поточний момент, може бути як працездатною, так і несправною. Тому перевірка правильності функціонування не є вичерпним критерієм оцінки загального стану.

4. Пошук несправностей. Завдання полягає у точному визначенні несправного елемента або множини елементів, серед яких знаходиться несправний компонент. Це завдання є найбільш детальним і критичним для оперативного усунення відмов.

Технічне діагностування

У контексті діагностування залізничних систем, зокрема стрілочних переводів, необхідно виконувати всі чотири зазначені завдання. Залежно від способу реалізації процесу, технічне діагностування поділяється на:

- **Тестове діагностування.** Виконується, коли об'єкт не використовується за призначенням. На об'єкт подаються вхідні тестові впливи, а його реакція фіксується й порівнюється з еталонними значеннями.
- **Функціональне діагностування.** Здійснюється під час експлуатації системи, коли робочі вхідні сигнали одночасно виконують роль тестових впливів.

Діагностування стрілочних переводів

Ефективне діагностування стрілочних переводів потребує застосування як тестового, так і функціонального підходів. Ці процеси дозволяють забезпечити повноцінний контроль технічного стану, своєчасне виявлення відмов і

несправностей, а також запобігання виходу систем із ладу, що є критичним для стабільної роботи залізничної автоматики.

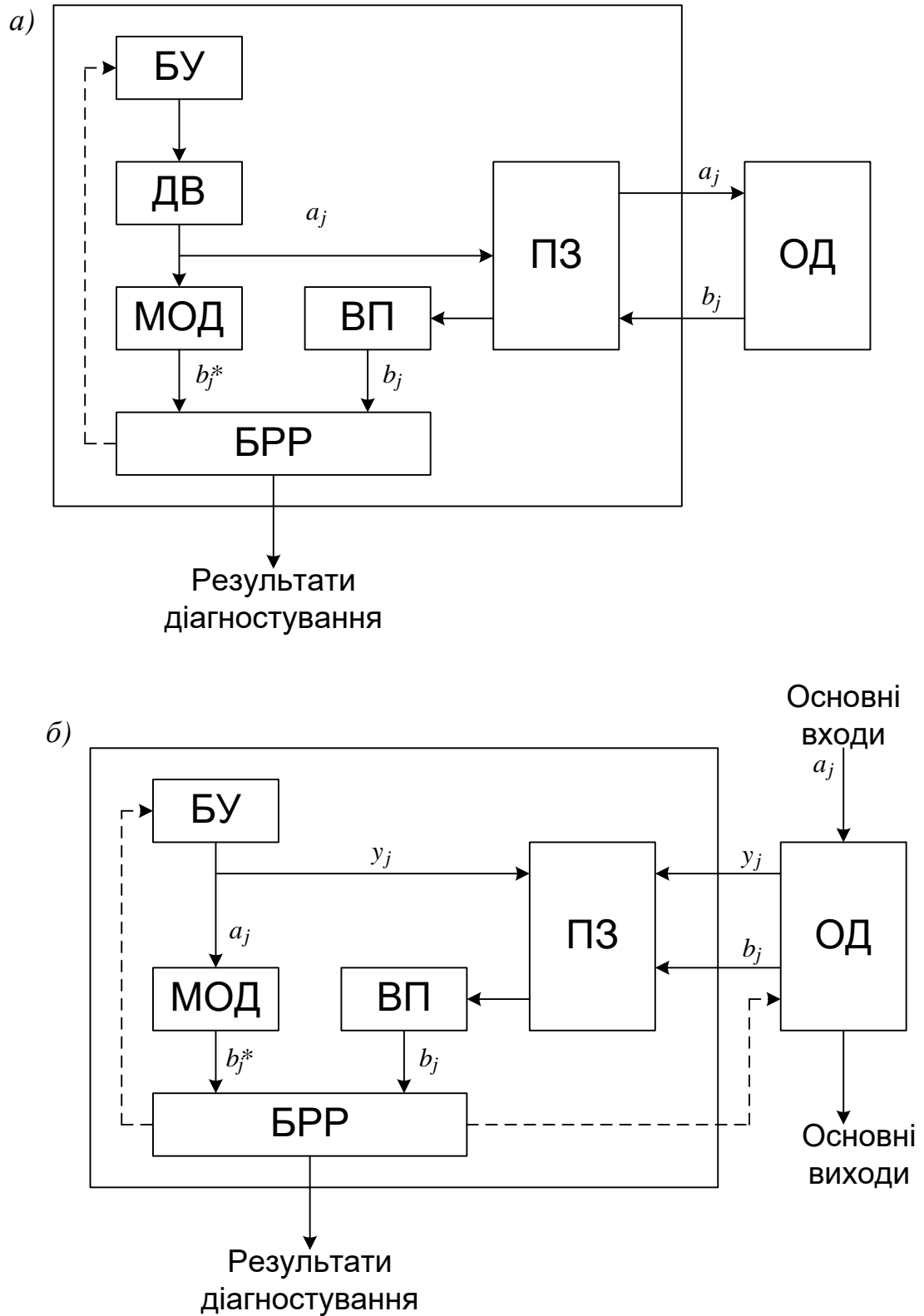


Рис. 2.1 – Схеми тестового (а) і функціонального(б) діагностування

Для стрілочного переводу застосування активних діагностичних пристроїв ускладнюється, оскільки під час передавання контрольних сигналів через двопровідну конфігурацію стрілочного механізму (вхід до системи) відсутній вихід, який би дозволяв реєструвати реакцію системи. Якщо на вхід подавати робочий сигнал як контрольний, реакцією системи може вважатися зміна положення стрілки. Однак у цьому разі отримана інформація про об'єкт обмежується лише ідентифікацією його належності до одного з двох станів В або С (справний чи несправний). Крім того, такий вплив можливий виключно в часові інтервали, коли стрілка не задіяна для поїзної або маневрової роботи.

З урахуванням вищевикладеного, можна дійти висновку, що для стрілочних переводів недоцільно використовувати активні технічні засоби. Натомість доцільним є розроблення пасивних систем, які не потребують передавання на вхід додаткових контрольних сигналів.

У сучасних системах електричної централізації, що впроваджуються на залізничних магістралях України, уже інтегрований вбудований функціональний моніторинг чотирьох станів стрілочного переводу: нормального (позитивного), переведеного (негативного), проміжного (середнього) та взрізу. Оцінювання параметрів стрілочного переводу зазвичай здійснюється під час профілактичних вимірювань або планової заміни обладнання. З огляду на це, логічно припустити, що технічні засоби для діагностики стрілки повинні охоплювати функціональний моніторинг зазначених чотирьох станів, а також автоматизований контроль таких характеристик, як тривалість переведення стрілки, струм споживання стрілочним механізмом, щільність прилягання гостряка до рамної рейки тощо.

Отже, технічні засоби для діагностики стрілочного переводу повинні бути пасивними, автоматизованими, забезпечувати контроль характеристик і функціональних параметрів, виконувати завдання діагностики справності, аналізу функціональної придатності та прогнозування можливих збоїв у роботі стрілки.

2.2 Вибір об'єктів діагностування та контролю електричної централізації

Для підвищення надійності функціонування систем ЕЦ на залізничному транспорті широко використовуються комплекси моніторингу та діагностики. Для забезпечення результативної роботи таких комплексів необхідно оптимально визначити елементи ЕЦ, які потребують пріоритетного контролю.

Під час проєктування сучасних систем диспетчерського моніторингу як на перегоні, так і на станційних ділянках, у першу чергу аналізується технічний стан обладнання РК, що є основним джерелом збоїв у системах. Однак під час вибору об'єктів для моніторингу та діагностики слід враховувати не лише частоту несправностей пристроїв ЕЦ, але й низку додаткових чинників, які впливають на безпеку та стабільність функціонування залізничного транспорту.

Для більш аргументованого вибору об'єктів моніторингу та діагностики елементів ЕЦ важливо враховувати не лише кількість збоїв певного компонента станційної автоматики, але й їхні наслідки для організації руху на станції. Адже для залізничного транспорту в цілому більш важливим є не частота відмов конкретного пристрою ЕЦ, а те, щоб такі збої не створювали небезпеки для безпеки руху і не призводили до порушення графіка потягів.

У таблиці 2.1 наведено статистичні дані щодо відмов обладнання ЕЦ за період 2020–2024 років, які охоплюють основні групи елементів, на які припадає найбільший відсоток несправностей.

Аналізуючи результати поданих статистичних даних і дотримуючись принципу «максимальний показник – найвищий пріоритет», першочергового моніторингу та діагностики потребують РК як найбільш ненадійні елементи. Водночас, з урахуванням затримок потягів, що виникають через окремі несправності, пріоритетність вибору об'єктів діагностики може змінюватися.

Таблиця 2.1 – Загальна кількість відмов по службі Ш

	2020	2021	2022	2023	2024
Світлофор	4,5%	6%	6,9%	9,9%	10%
Електроприводи	12,7%	10,5%	10,9%	12,5%	10,4%
Рейкові кола	34,6%	38%	28,1%	24,3%	25,3%
Постові пристрої	7,2%	9,1%	11,8%	12,1%	16,5%
Джерела живлення	4,2%	3,2%	3,1%	2,8%	3,3%
Кабельні лінії	8,2%	7,8%	7,7%	9,3%	10,6%

У даній роботі пропонується враховувати ступінь впливу наслідків різних відмов через використання коефіцієнта α_i , $i=1,2\dots N_{об.}$, де $N_{об.}=6$ — кількість об'єктів діагностування (табл. 2.1). Коефіцієнт α_i визначається як результат зважування нормованих величин впливу наслідків відмов c_{ij} , $j=1,2\dots N_B$ для кожного з аналізованих об'єктів, де $N_B=5$ — кількість типів наслідків відмов (табл. 2.2). Формально це можна подати так:

$$\alpha_i = \prod_{j=1}^{N_B} c_{ij}, \quad i=1,2\dots N_{об.} \quad (2.4)$$

де:

$$c_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^{N_{об.}} x'_{ij}} \quad (2.5)$$

а x'_{ij} — нормований коефіцієнт x_{ij} , що відповідає впливу відмов у межах $j=1,2\dots N_B$, і є елементом матриці $X_{N_{об.} \times N_B}$, представленої в табл. 2.1.

Результуючий коефіцієнт K_i обчислений на основі статистичних даних щодо затримок потягів (табл. 2.2), дозволяє кількісно оцінити рівень впливу відмов об'єктів тієї чи іншої групи на рухомий графік. Нормований коефіцієнт має наступні значення для основних груп елементів: світлофори, електроприводи, рейкові кола, постові пристрої, джерела живлення, кабельні лінії.

Таким чином, запропонований метод дає змогу систематизувати аналіз наслідків відмов та забезпечити пріоритетну увагу до найбільш критичних об'єктів діагностики.

Таблиця 2.2 – Показники надійності об'єктів ЕЦ

Параметр	Значення параметра для об'єктів						
	Світлофори	Електропривод	Рейкові кола	Постові пристрої	Джерела живлення	Маневрові колонки	Кабельні лінії
Середня тривалість затримки одного потягу, хв.	9.7	18.1	11.6	12.5	9.9	21	13.2
Середня тривалість затримки потягу на одну відмову, хв.	6.21	11.95	4.99	4.25	8.6	22.26	12.8
Число затриманих потягів, середнє на одну відмову	0.64	0.66	0.43	0.34	0.87	1.06	0.97
Число затриманих потягів на тисячу маршрутів	0.08	0.09	0.1	0.015	0.02	0.015	0.03
Середня тривалість відмов, хв.	28.1	32.3	30.8	21.1	23.2	70.6	67.9

Якщо графік часової залежності відмов представити у тривимірному просторі, додаючи вісь впливу наслідків відмов, виникає можливість забезпечити графічну інтерпретацію множини частот відмов об'єктів електричної централізації (ЕЦ) з урахуванням ступеня їх впливу.

На представленому слайді видно, що врахування коефіцієнта α реалізується через паралельний перенос кривих, які відображають статистичні дані, вздовж відповідної осі впливу. Такий підхід, у поєднанні з порівняно малою дисперсією статистичних даних, дозволяє уникнути врахування часової

складової при формулюванні методології визначення пріоритетності об'єктів діагностування.

Як метод визначення пріоритету об'єктів діагностування в даній роботі пропонується, як один із можливих підходів до вирішення цієї категорії задач, розбиття множини аналізованих даних. Це базується на припущенні рівнозначного впливу частоти відмов об'єктів та відповідних вагових коефіцієнтів. Розподіл здійснюється через побудову межі такого виду:

$$p(\alpha) = -\alpha + b \quad (2.6)$$

де $b = \text{const}$ – забезпечує паралельний переніс границі розбиття.

У нашому випадку система складається з шести компонентів, кожен з яких має однаково важливе значення для загальної архітектури (без будь-якої з них система не зможе функціонувати). Необхідно визначити значущість кожної складової, тобто встановити їхню відносну вагу щодо одна одної. Це дозволить нам оцінити, якій частині потрібно приділяти більше уваги, а також, можливо, посилити контроль, упроваджуючи додаткові механізми для підвищення рівня безпеки всієї системи.

Вагові коефіцієнти елементів у нашій моделі не є однаковими, адже самі складові мають різну структуру й принцип функціонування.

Дуже рідко вагові коефіцієнти визначаються однозначно з точки зору «фізичного сенсу» завдання системного аналізу. Найчастіше їхнє встановлення можна назвати «призначенням», «суб'єктивним обґрунтуванням» або «прогнозуванням» – тобто діями, які не є строго науковими.

У деяких випадках, якими б парадоксальними вони не здавалися, вагові коефіцієнти встановлюються шляхом голосування – відкритого чи анонімного. Це пов'язано з тим, що за відсутності кількісного методу оцінки значущості складових, доцільно покладатися на накопичений практичний досвід.

На основі даних наведеної таблиці визначимо коефіцієнти, які впливають на оцінку важливості кожної відмови відносно одна одної, щоб зрозуміти, на які саме аспекти варто звертати більше уваги. На це впливають такі параметри, як середня тривалість затримки одного потяга, середня тривалість затримки потяга через одну відмову, кількість затриманих потягів, середня кількість затримок на одну відмову, кількість затриманих потягів на тисячу маршрутів і середня тривалість відмови.

Присвоїмо кожному з факторів свій коефіцієнт: K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 відповідно.

Розрахуємо ці коефіцієнти для світлофорів:

$$K = A/A_{\text{спільне}} ; \quad A_{\text{спільне}} = \sum_{i=1}^{i=6} A_i ; \quad (2.7)$$

$$K_0 = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 \quad (2.8)$$

$$A_{\text{спільне}1} = 9,7 + 18,1 + 11,6 + 12,5 + 9,9 + 13,2 = 75$$

$$K_1 = 9,7/75 = 0,13$$

$$A_{\text{спільне}2} = 6,21 + 11,95 + 4,99 + 4,25 + 8,6 + 12,8 = 48,8$$

$$K_2 = 6,21/48,8 = 0,127$$

$$A_{\text{спільне}3} = 0,64 + 0,66 + 0,43 + 0,34 + 0,87 + 0,97 = 3,91$$

$$K_3 = 0,64/3,91 = 0,16$$

$$A_{\text{спільне}4} = 0,08 + 0,09 + 0,1 + 0,015 + 0,02 + 0,03 = 0,335$$

$$K_4 = 0,08/0,335 = 0,24$$

$$A_{\text{спільне}5} = 28,1 + 32,3 + 30,8 + 21,1 + 23,2 + 67,9 = 203,4$$

$$K_5 = 28,1/203,4 = 0,14$$

$$K_0 = 0,13 * 0,127 * 0,16 * 0,24 * 0,14 = 0,00009$$

Розрахуємо коефіцієнти для електроприводів:

$$K_1 = 18,1/75=0,24$$

$$K_2 = 11,95/48,8=0,24$$

$$K_3 = 0,66/3,91=0,17$$

$$K_4 = 0,09/0,335=0,27$$

$$K_5 = 32,3/203,4=0,16$$

$$K_0 = 0,24*0,24*0,17*0,27*0,16= 0,00042$$

Розрахуємо коефіцієнти для рейкових кіл:

$$K_1 = 11,6/75=0,15$$

$$K_2 = 4,99/48,8=0,1$$

$$K_3 = 0,43/3,91=0,11$$

$$K_4 = 0,1/0,335=0,3$$

$$K_5 = 30,8/203,4=0,15$$

$$K_0 = 0,15*0,1*0,11*0,3*0,15=0,00007$$

Розрахуємо коефіцієнти для постових пристроїв:

$$K_1 = 12,5/75=0,17$$

$$K_2 = 4,25/48,8=0,09$$

$$K_3 = 0,34/3,91=0,09$$

$$K_4 = 0,015/0,335=0,04$$

$$K_5 = 21,1/203,4=0,1$$

$$K_0 = 0,17*0,09*0,09*0,04*0,1=0,000006$$

Розрахунок коефіцієнтів для джерела живлення:

$$K_1 = 9,9/75=0,13$$

$$K_2 = 8,6/48,8=0,18$$

$$K_3 = 0,87/3,91=0,22$$

$$K_4 = 0,02/0,335=0,06$$

$$K_5 = 23,2/203,4=0,11$$

$$K_0 = 0,13*0,18*0,22*0,06*0,11=0,000034$$

Розрахунок коефіцієнтів для кабельних ліній:

$$K1 = 13,2/75=0,176$$

$$K2 = 12,8/48,8=0,26$$

$$K3 = 0,97/3,91=0,25$$

$$K4 = 0,03/0,335=0,09$$

$$K5 = 67,9/203,4=0,33$$

$$K_0 = 0,176*0,26*0,25*0,09*0,33=0,00034$$

На основі проведених досліджень можна дійти висновку щодо перегляду пріоритетів під час визначення об'єктів діагностики у системі ЕЦ. Аналізуючи статистичні дані про відмови обладнання станційної автоматики, враховуючи у такий спосіб час і кількість затримок потягів, спричинених певними відмовами, стає очевидним, що першочергового додаткового контролю та діагностування потребують стрілочні електроприводи. Наступними за важливістю є кабельні мережі, а вже після цього – апаратура рейкових кіл і стан світлофорів. Вказаний порядок пріоритетів відрізняється від прийнятого під час проектування сучасних систем диспетчерського моніторингу.

Врахування запропонованої послідовності вибору об'єктів діагностики у процесі розроблення сучасних діагностичних комплексів сприятиме підвищенню ефективності роботи систем контролю та діагностики. У підсумку це дозволить суттєво зменшити кількість затримок потягів на станціях, підвищити результативність поїзної та маневрової діяльності, а також знизити економічні витрати, пов'язані із затримками руху потягів на залізничному транспорті в цілому.

Статистичні дані свідчать, що на кабельні лінії припадає від 8 до 10 відсотків усіх відмов. У той самий час, наприклад, на рейкові кола припадає від 25 до 36 відсотків відмов. Проте усунення несправностей на кабельних лініях потребує значно більше часу, ніж на рейкових колах. Це, у свою чергу, спричиняє суттєві затримки у русі поїздів і зумовлює більші фінансові втрати.

Тому виникає нагальна потреба у розробці методів, які скорочують час на виявлення та ліквідацію несправностей кабельних ліній.

2.3 Причини виникнення відмов в стрілочних переводах та двигунах

Як і в інших пристроях систем СЦБ, у стрілочних переводах існує десять основних причин виникнення несправностей:

Порушення технологічних процесів під час виготовлення компонентів. Це приховані дефекти у виробництві деталей та елементів, які залишаються невиявленими під час заводського або вхідного контролю.

Недотримання технологічних вимог при будівництві. Виявляється у неналежній обробці кабелів, неякісному виконанні монтажних робіт тощо.

Помилки у функціональній схемі. Ці похибки можуть виникати у принциповій або монтажній схемі, а також під час виконання монтажу. Вони зазвичай виявляються при передпусковій перевірці, проте інколи залишаються прихованими протягом тривалого часу.

Неправильний вибір електричних параметрів. Помилки у визначенні відповідних величин електричних характеристик.

Метеорологічні умови. Негативний вплив кліматичних факторів, таких як дощ, сніг або різкі температурні коливання.

Вібрації, спричинені рухом потягів. Постійне механічне навантаження від поїздів, що проходять, може призводити до поступового зношування елементів.

Зовнішні джерела енергії. Небажані впливи від сторонніх електромагнітних чи енергетичних джерел.

Діяльність сторонніх організацій та осіб. Виробничі процеси чи дії, які впливають на роботу обладнання.

Випадкові зовнішні впливи. Несподівані чинники, що виникають ззовні та не залежать від роботи системи.

Неправильні дії обслуговуючого персоналу. Помилки працівників під час експлуатації чи технічного обслуговування обладнання.

У разі виникнення відмов з будь-якої з десяти зазначених причин система діагностики повинна своєчасно їх фіксувати. Методи реєстрації відмов можуть суттєво відрізнятися між собою.

Безперервний метод фіксації відмов забезпечує можливість негайного переходу до пошуку несправності та її усунення одразу після її виникнення. Це значно підвищує ймовірність відновлення працездатності несправного компонента ще до того, як виникне необхідність у його використанні.

Фіксація відмов методом "квітирування" передбачає, що інформація про несправність стає доступною лише в момент, коли пристрій або елемент, що відмовив, знадобиться в роботі. Попередніх даних про відмову в цьому разі немає.

Для забезпечення ефективності роботи системи діагностики та моніторингу необхідно застосовувати **безперервний метод фіксації відмов**. Крім того, впровадження цього методу дозволяє виявляти **переривчасті відмови**, які належать до найбільш небезпечних через складність їх діагностики та усунення.

Переривчасті відмови характеризуються тим, що вони виникають у пристроях лише періодично, за певних умов і часто на дуже короткий проміжок часу. Прикладами таких відмов є пробої ізоляції в рейкових колах, втрата контролю стрілкою, випадкове відпадиння якоря в реле тощо. Причинами цих несправностей можуть бути недостатнє технічне обслуговування, неправильне регулювання пристроїв або несправність їх окремих компонентів.

Часто **зовнішні фактори** стають каталізаторами переривчастих відмов. Серед них: температурні коливання, зниження напруги живлення, вплив вібрацій тощо. Основна складність таких відмов полягає в тому, що їх важко ідентифікувати за допомогою стандартних методів пошуку несправностей. Це зумовлено короткочасністю прояву проблеми (лише кілька секунд), після чого звичайними способами виявити причину несправності неможливо. Для

діагностики таких відмов необхідно в момент їх прояву реєструвати всі зовнішні фактори, які могли спричинити проблему.

На залізницях України більшість стрілочних приводів працюють на базі електродвигунів постійного струму із послідовним збудженням якоря.

Електричні машини та двигуни часто виходять з ладу через несправності у щітково-колекторних вузлах або шарикопідшипниках. Також можливі обриви та міжвиткові замикання обмоток. Інтенсивність електричних відмов обмоток (λ) у таких двигунах визначається за аналогією до трансформаторів і дроселів, але з урахуванням припустимого перегріву машин та класу їх ізоляції. Перегрів оцінюється на основі графіків температури найгарячішої точки машини.

$$T_{\text{макс}} = T_c + \Delta T_e \quad (2.9)$$

де T_c - температура навколишнього середовища;

ΔT_e – перевищення температури, яке зазвичай визначається в технічних умовах для компонентів, що функціонують при повному навантаженні

Інтенсивність електричних несправностей двигуна розраховується за формулою $\lambda_{\text{э}} = \beta \lambda_{\text{про}}$;

де $\lambda_{\text{об}}$ – інтенсивність відмов, обумовлена за графіком;

β - коефіцієнт, що залежить від конструкції, значення якого наведені в таблицях. Загальна інтенсивність відмов двигунів виражається рівнянням:

$$\lambda = \lambda_{\text{э}} + \lambda_{\text{м}} \quad (2.10)$$

де $\lambda_{\text{э}}$ – електрична складова інтенсивності відмов;

$\lambda_{\text{м}}$ – інтенсивність відмов обумовлена механічним зношуванням і обумовлена за графіком залежно від частоти обертання.

Графіки й таблиці для цих розрахунків наведені у спеціалізованій довідковій літературі.

Найбільш поширені несправності електродвигунів включають:

відпайку пластин колектора;

міжвиткове коротке замикання;

недостатній контакт щіток;
 обрив обмоток;
 розрив секцій обмоток;
 коротке замикання в обмотці статора.

Основними причинами порушення функціонування щіток і колектора є:

Забруднення колектора вугільним пилом. Якщо його своєчасно не очистити, виникає іскріння між щітками і колектором, що поступово призводить до їхнього руйнування.

Зниження ізоляційних властивостей колектора. Це може бути спричинено вологою або вугільним пилом.

Перегрів ізоляції колектора. Часто виникає через неякісну проточку якоря.

Недостатній притиск щіток до пластин. Це може бути наслідком зміщення щітки відносно нейтралі або затискання щіткотримача через неправильний розмір втулки.

Замикання на колекторі. Причинами є:

недбале паяння вивідних кінців обмоток до пластин;
 утворення металевих задирок під час обточування.

У деяких випадках під час роботи двигуна спостерігається **перегрів підшипників**. Найчастіше це зумовлено:

механічним пошкодженням підшипників;
 підвищеним тертям між сальником і валом;
 відсутністю осьового люфту.

Перегрів електродвигуна через короткочасний повторюваний режим роботи можливий лише внаслідок короткого замикання пластин колектора або секцій якоря.

2.4 Способи обслуговування стрілок

Під час регламентного технічного обслуговування систем електроприводів, яке проводиться з періодичністю один раз на чотири тижні,

електромеханік у кооперації з електромонтером виконує комплексну діагностику внутрішніх компонентів електроприводу із застосуванням переводу стрілки відповідно до вимог технологічної карти № 14. У процесі виконання робіт реалізуються наступні заходи:

1. Діагностика стану та фіксації внутрішніх вузлів електроприводу

- Здійснюється візуальний аналіз цілісності вузлів та елементів конструкції.

- Проводиться додаткове закріплення кріпильних елементів (болтів, гайок) з акцентом на фіксацію електродвигуна, редуктора, блоку автоперемикача, ножів, контактних колодок автоперемикача, а також стопорного гвинта фрикційного механізму.

- У разі необхідності проводять очищення зубчастих передач і змазаних поверхонь за допомогою гасу чи технічних тканин, після чого здійснюють їх повторне змащення. Операції виконуються у крайніх положеннях стрілки після попереднього відключення курбельного контакту.

2. Технічне змащення елементів приводу

- Виконується змащення ключових механізмів, включно з основним зубчастим колесом, зубцями відкритої вал-шестерні редуктора, роликami рубильників та наполегливими важелями, осями, шиббером, контрольними лінійками, сальниками, замком і шарніром кришки приводу.

- Забезпечується заповнення масляної ванни шиббера мастильним матеріалом відповідно до технічних регламентів, визначених в інструкції.

3. Контроль стану монтажу та його закріплення

- Проведення зовнішнього огляду проводів з акцентом на їх механічну цілісність, наявність та стан кріпильних елементів (гайок, контргайок).

- Виконується додаткова фіксація кріплень монтажних проводів, що перевіряється відсутністю зміщення наконечників при спробі їх обертання.

- Закріплення джгутів проводів виконується за допомогою спеціалізованих утримувачів з додатковою ізоляцією (ізоляційні трубки, стрічки, просочені лаком).

- У зимовий період діагностується функціонування резисторів із застосуванням курбельного контакту для перевірки нагріву.

4. Аналіз регулювання контрольної тяги

- Відповідно до контрольної пластини Т-подібної форми та міток на контрольних лінійках здійснюється перевірка правильності регулювання. Номінальний інтервал між мітками має становити 1–3 мм.

- Вимірювання зазору виконується за допомогою шкали на пластині або щупа.

- Регулювання тяги перевіряється у крайніх позиціях стрілки, особливо у момент віджиму вістряка.

5. Інспекція стану колектора та щіткотримачів двигуна

- Колектор обертається, очищується тканиною, змоченою бензином, з подальшою перевіркою його поверхні. Пластини мають бути рівними, без механічних дефектів чи слідів підгорання.

- Контролюється прилягання щіток до пластин і виконується видалення вугільного пилу зі щіткотримача.

- Омметром проводиться замір опору секцій якоря під час повільного обертання; виявлення несправностей здійснюється на основі відхилень у значеннях, зазначених у таблиці 1 технологічної карти № 17.

6. Моніторинг рівня мастильного матеріалу в редукторі

- За допомогою індикаторного пристрою визначається рівень масла після відкручування верхньої пробки корпусу редуктора. Рівень повинен відповідати заданим позначкам.

7. Контроль стану ущільнювачів електроприводу

- Оглядаються ущільнювальні елементи корпусу, які повинні забезпечувати герметичність та захист від потрапляння вологи й пилу.

- Отвір для курбельної рукоятки ущільнюється гумовими шайбами з метою уникнення утворення зазорів.

8. Оцінка роботи блокувальної заслінки та замкового механізму

- Заслінка тестується на плавність функціонування при вмиканні та вимиканні курбельного контакту. Вона повинна забезпечувати безперерйне розмикання контактів.

- Замок приводу перевіряється на виключення можливості самовільного відкриття кришки.

9. Огляд і регулювання контактів автоперемикача

- Виконується аналіз стану контактних ножів, пружин і контактних колодок на предмет тріщин, забруднень чи ознак підгорання.

- Контролюється відповідність параметрів відстані між пружинами та глибини врубання ножів із використанням шаблонів.

- Здійснюється регулювання пружин для забезпечення необхідних характеристик роботи.

Така процедура гарантує підтримання електроприводів у робочому стані, сприяючи підвищенню їх експлуатаційної надійності та довговічності.

10. Аналіз функціональної взаємодії компонентів електроприводу та оцінка роботи автоперемикача

Після завершення внутрішнього технічного обстеження всіх складових електроприводу, електромеханік активує курбельний контакт і звертається до чергового по станції (ДСП) з метою здійснення кількох переведень стрілки. У процесі переведення стрілки виконується візуальний контроль роботи автоперемикача та взаємодії механічних вузлів приводу.

Під час перевірки обов'язковим є дотримання наступних експлуатаційних критеріїв:

- Плавність та рівномірність функціонування приводу. Усі операції повинні виконуватись без ривків, поштовхів або ударів, що свідчить про належний стан кінематики системи.

- Міцність фіксації компонентів. Всі елементи конструкції мають залишатися у стабільному положенні, виключаючи зміщення чи вібрації в точках закріплення.

- Точність та стабільність роботи автоперемикача:

- Забороняється ударне зіткнення ножів з ізоляційними колодками.
- Іскріння на контактних елементах не повинно перевищувати ступінь 2 (визначається згідно з технічною картою № 17, таблиця 2).
- Синхронність руху шибера та контрольних лінійок. Їх переміщення повинно бути вільним, без перекосів та зсувів.
- Рівномірність швидкості переводу стрілки. Час переводу стрілки в крайні положення має бути симетричним для плюсової та мінусової орієнтації.

Регламентоване обслуговування електродвигуна

Процедури перевірки та діагностики електродвигуна регламентовані положеннями технологічних карт № 16 та № 17.

Аналіз параметрів струмоспоживання. Контроль споживаного струму здійснюється з періодичністю один раз на чотири тижні. Ця процедура дозволяє оцінити відповідність режиму роботи двигуна нормативним значенням.

Вимірювання робочої напруги. Перевірка напруги живлення виконується з періодичністю раз на рік для визначення стабільності електропостачання та запобігання перевантаженням.

Зазначені заходи спрямовані на підтримання безперебійної роботи електродвигуна та підвищення ефективності експлуатації електроприводу.

2.5 Висновки до другого розділу

За результатами проведеного аналізу відмов та методів діагностування пристроїв електричної централізації, причин виникнення відмов стрілочних переводів та діючих способів їх перевірки можна зробити висновок що для покращення експлуатації об'єктів залізничної автоматики в першу чергу треба створювати системи автоматичного контролю стрілочних переводів з використанням функціонального діагностування. отягів та сприятиме запобігання поломок дороговартісного обладнання МПЦ.

3 РОЗРОБКА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ СТІЛОК В РІЗНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

3.1 Структура системи контролю стрілочних переводів і електродвигунів

Для проведення діагностики стрілочного приводу за допомогою сенсорних пристроїв у стрілочному переводі необхідно встановити механізми, здатні виявляти стан автоперемикача, редуктора, кurbельного контакту, реле ППР тощо. Окрім цього, потрібні додаткові провідники кабелю для передачі інформації від сенсорів до пристроїв, які здійснюють прийняття рішень. Це супроводжується значними додатковими витратами. Запропонована система діагностики стрілочного електродвигуна та стрілочного переводу функціонує без застосування додаткових сенсорів і не створює перешкод для штатної роботи електричної централізації. Висновки щодо справності та працездатності двигуна можна зробити, аналізуючи часову та частотну залежності струму. Для реєстрації струму необхідно розробити відповідну підсистему діагностики (рис. 3.1).

У робочий контур стрілочного приводу до лінійних провідників L1 та L2 інтегрується малий додатковий резистор R1 із номіналом 1–2 Ом. Величина цього резистора не є критичною, оскільки, незважаючи на низький активний опір обмоток збудження двигуна (кілька Ом залежно від його типу), який співмірний із опором R1, це не впливає на функціональність системи стрілочного переводу. Основною причиною є значно більший опір лінійних провідників L1 та L2, що зазвичай становить 20–40 Ом залежно від просторового розташування стрілки на станції. У рамках експериментальних досліджень використовувався резистор із опором $R1=1$ Ом. Напруга, що падає на цьому резисторі, підключеному послідовно до кола живлення двигуна, пропорційна величині струму, який протікає через стрілочний електродвигун [4].

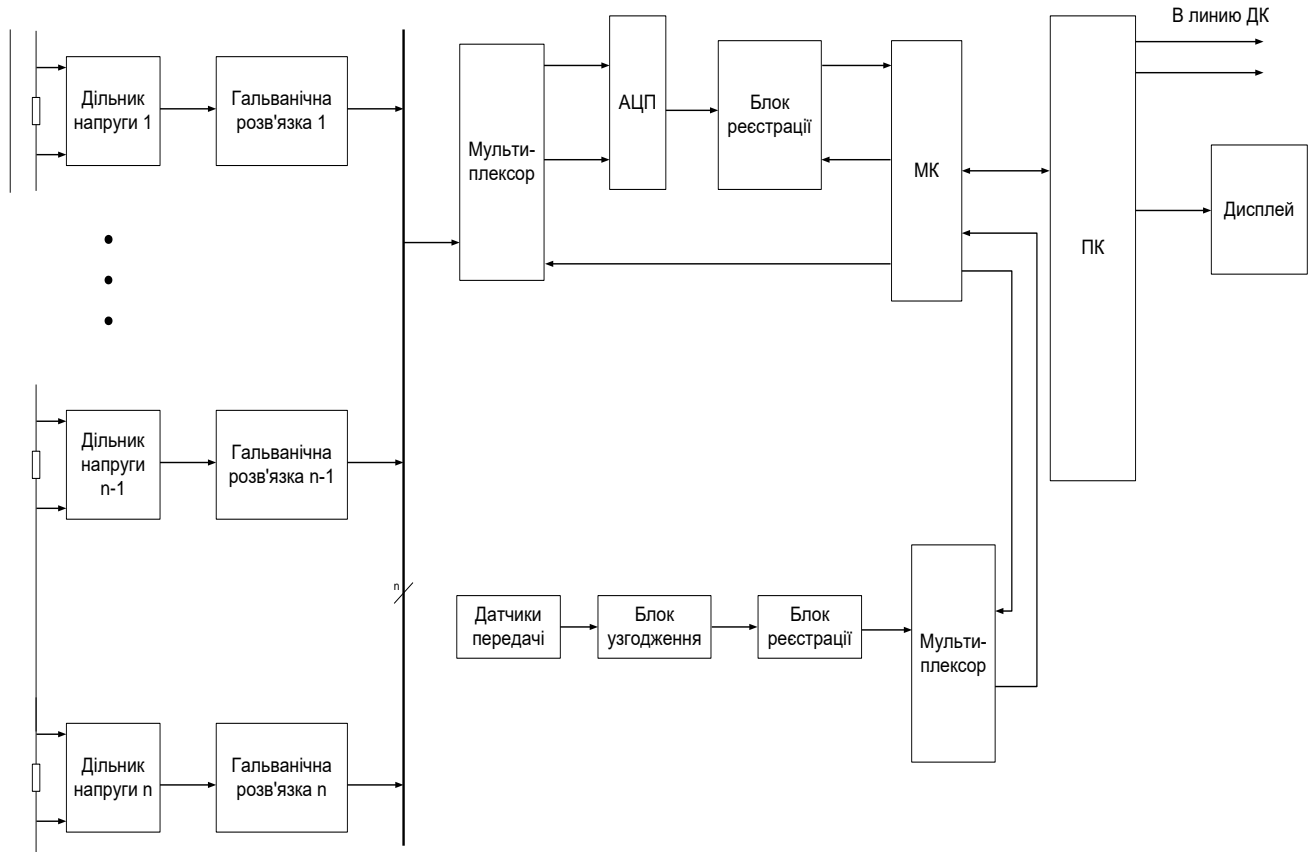


Рисунок 3. 1 – Структурна схема системи діагностики стрілочних двигунів та переводів

Під час активації стрілочного комутатора черговим по станції та подачі команди на перевід стрілки сенсор переводу, інтегрований у керувальний контур, фіксує відповідну команду. Вихід сенсора передає сигнал до блоку узгодження рівнів, після чого сигнал спрямовується до модуля реєстрації початку переводу. Мікроконтролер із визначеною періодичністю з'єднує вихід реєстраційного блоку зі входом мультиплексора, здійснюючи циклічну перевірку наявності сигналу на кожному вході. Визначивши активний вхід мультиплексора, мікроконтролер ідентифікує номер стрілки, яка підлягає переводу, та передає відповідний сигнал на другий мультиплексор, що підключає потрібний канал до аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). Уся процедура виконується за короткий проміжок часу, що дозволяє мікроконтролеру завершити підготовку до моменту спрацювання реле НПС та ППР у схемі керування. Час спрацювання ППР фіксується мікроконтролером.

Подібна система застосовується на невеликих станціях, де відсутня маршрутна централізація. У випадку великих станцій із блочною маршрутно-релейною централізацією або іншими автоматизованими системами, де маршрути задаються натисканням двох кнопок, принцип роботи змінюється. Це зумовлено автоматизацією переводу стрілок через реле ПУ та МУ, що виключає використання стрілочних комутаторів. Внаслідок цього сенсори переводу, налаштовані на фіксацію команд комутаторів, стають неефективними. У таких випадках доцільно встановлювати додаткові сенсори для реєстрації натискань поїзних і маневрових кнопок.

Після реєстрації сенсорами натискань кнопок початку та завершення маршруту відповідні дані через блок узгодження рівнів, реєстраційний блок, мультиплексор і мікроконтролер передаються до обчислювальної машини. Комп'ютер, аналізуючи послідовність натискань, визначає, які стрілки потребують переводу, та підключає відповідний вхід до АЦП. Це забезпечує можливість додаткового підключення для моніторингу струмових характеристик стрілки, що перевірялася найдавніше. У разі індивідуального переводу або перевірки прилягання стрілок процедура відповідає алгоритмам, що застосовуються для малих станцій.

При одночасному переведенні декількох стрілок можливий запис струмової кривої лише для однієї з них, оскільки одночасна реєстрація значно ускладнює систему. У таких випадках комп'ютер ідентифікує стрілку, що переводилася раніше, та підключає її до реєстраційного каналу для аналізу часової залежності струму.

Після активації реле ППР через резистор R починає протікати робочий струм. Напруга, що виникає на цьому резисторі, передається через блок гальванічної розв'язки та мультиплексор до АЦП, де сигнал оцифровується та надсилається до регістра-замикача. Мікроконтролер циклічно зчитує цифрові дані, формуючи криву струму електродвигуна, яка зберігається у його пам'яті, а потім передається до персонального комп'ютера.

Отримана крива струму порівнюється із зразковою, що дозволяє визначити стан стрілочного переводу. Зразкові та поточні дані зберігаються в пам'яті протягом кількох циклів для аналізу тенденцій розвитку відмов та прогнозування критичного стану [5].

Оскільки стрілки, що обслуговуються електричною централізацією, мають різну частоту використання, необхідно забезпечити рівномірний контроль усіх стрілок. У випадку станцій із невеликою кількістю стрілок застосування обчислювальної машини як керуючого елемента може бути не обов'язковим, достатньо використання мікроконтролера та індикатора відображення.

У разі інтеграції діагностики стрілочних двигунів до загальної системи контролю електричної централізації функції мікроконтролера можуть виконуватися процесором персонального комп'ютера. Використання дисплея дозволяє електромеханіку оперативно ідентифікувати відмови, аналізувати сигнали через програмні пакети, що підвищує зручність і точність моніторингу стану стрілочного приводу.

3.2 Використання шафи гарантованого електроживлення ШВРП-ЕЦ фірми «Імпульс» для діагностування стрілок

Особливо варто зазначити, що в майбутньому витрати на впровадження системи діагностики можуть значно зменшитися. Наразі на залізницях України активно впроваджуються шафи гарантованого електроживлення (ШВРП-ЕЦ), які повністю замінюють панелі електроживлення постів електричної централізації. Дані шафи виготовляються підприємством «Імпульс» (м. Северодонецьк) та широко встановлюються на малих станціях Донецької, Одеської та Придніпровської залізниць.

На дверцятах шафи розташовано рідкокристалічний монітор, керований внутрішнім мікроконтролером. Монітор може відображати різноманітну інформацію, включно з відеограмою (епюрою струму), яка демонструє криву струму переводу стрілки. Аналізуючи таку криву, електромеханік може візуально спостерігати зміну струму під час переводу стрілки й визначати її

передвідмовний стан за відомими ознаками. Проте такий метод дозволяє виявляти лише обмежену кількість відмов, а правильність діагностування залежить від суб'єктивної оцінки обслуговуючого персоналу.

Впровадження шаф ШВРП-ЕЦ відкриває можливість модифікувати систему діагностики стрілочних переводів. Програмне забезпечення, яке автоматично визначає стан стрілочного переводу за допомогою інтегральних методів та взаємкореляційної функції, може бути встановлене лише на персональному комп'ютері змінного інженера дистанції. Дані про криві переводу стрілок передаватимуться з ШВРП-ЕЦ через лінію зв'язку. У конструкції шафи ШВРП-ЕЦ передбачено можливість встановлення модема для автоматичної передачі інформації в системи вищого рівня.

Таким чином, видозміна системи діагностики дозволяє суттєво знизити її вартість завдяки відсутності потреби встановлювати діагностичну апаратуру на лінійних пунктах. Основні витрати полягатимуть у створенні лінії зв'язку та впровадженні відповідного програмного забезпечення.

Додатково, це забезпечує можливість облаштування на робочому місці інженера дистанції високопродуктивного комп'ютера, який виконуватиме діагностичні завдання швидше. Такий комп'ютер також можна оснастити додатковими програмами, наприклад, для використання нейронних мереж чи автоматизованого ведення документації.

Крім того, можна створити електронні карти для кожної стрілки електричної централізації, формуючи індивідуальні бази даних. Це значно розширює можливості системи діагностики, сприяючи її точності, ефективності та спрощенню управління технічним станом стрілок.

3.3 Контроль стану стрілочного переводу в мікропроцесорних централізаціях

Запропоновані методи діагностики базуються на ретельному аналізі кривої струму переводу стрілки, що дозволяє оцінювати технічний стан стрілочного переводу. Розглянемо потенціал здійснення контролю стану стрілок у межах

сучасних мікропроцесорних систем централізації. Мікропроцесорна централізація (МПЦ-У), як інноваційна альтернатива традиційним релейним системам електричної централізації, що експлуатуються на залізницях, забезпечує суттєве підвищення рівня безпеки, надійності та оперативності управління рухом поїздів. Застосування МПЦ-У є особливо актуальним на станціях із різним рівнем інтенсивності роботи, включаючи високошвидкісні ділянки залізничної мережі [2].

Графічне представлення положення та стану стрілки, наведене на рис. 3.2, ідентичне до інтерфейсу, який виводиться на монітор автоматизованого робочого місця чергового по станції (АРМ-Ц ДСП). Такий підхід інтеграції графічної інформації забезпечує наочність і точність відображення даних, що є ключовим для ефективного прийняття рішень у режимі реального часу.

Функція масштабування графічного відображення

Для підвищення точності аналізу й деталізації окремих областей графічного відображення передбачено функцію масштабування. Реалізація цієї функції базується на інтерактивному інтерфейсі користувача, що забезпечує гнучкість у роботі з графічними даними. Основні етапи виконання масштабування наведено нижче.

Ініціація виділення області: розташувати покажчик маніпулятора (миші) на межу області, яка потребує збільшення для детального аналізу.

Вибір області для масштабування: натиснути ліву кнопку миші й утримувати її, водночас переміщуючи покажчик, формуючи прямокутну рамку, яка охоплює потрібну частину графіка.

Активація функції збільшення: Після завершення виділення відпустити ліву кнопку миші, що автоматично ініціює процес масштабування вибраної області.

Система виконує збільшення виділеного сегмента графіка, забезпечуючи можливість детального вивчення ключових параметрів роботи стрілочного переводу або його стану.

Застосування функції масштабування дозволяє отримати високу точність аналізу кривої струму, що є критично важливим у разі необхідності виявлення аномалій або ознак передвідмовного стану. Такі можливості особливо корисні для діагностики прихованих дефектів, оцінки впливу змінних експлуатаційних умов або виявлення поступового погіршення технічного стану стрілочного переводу.

Отже, інтеграція функції масштабування у програмне забезпечення АРМ-Ц ДСП не лише покращує зручність роботи операторів, але й сприяє підвищенню ефективності моніторингу та діагностики технічних об'єктів залізничної інфраструктури, таких як стрілочні переводи.

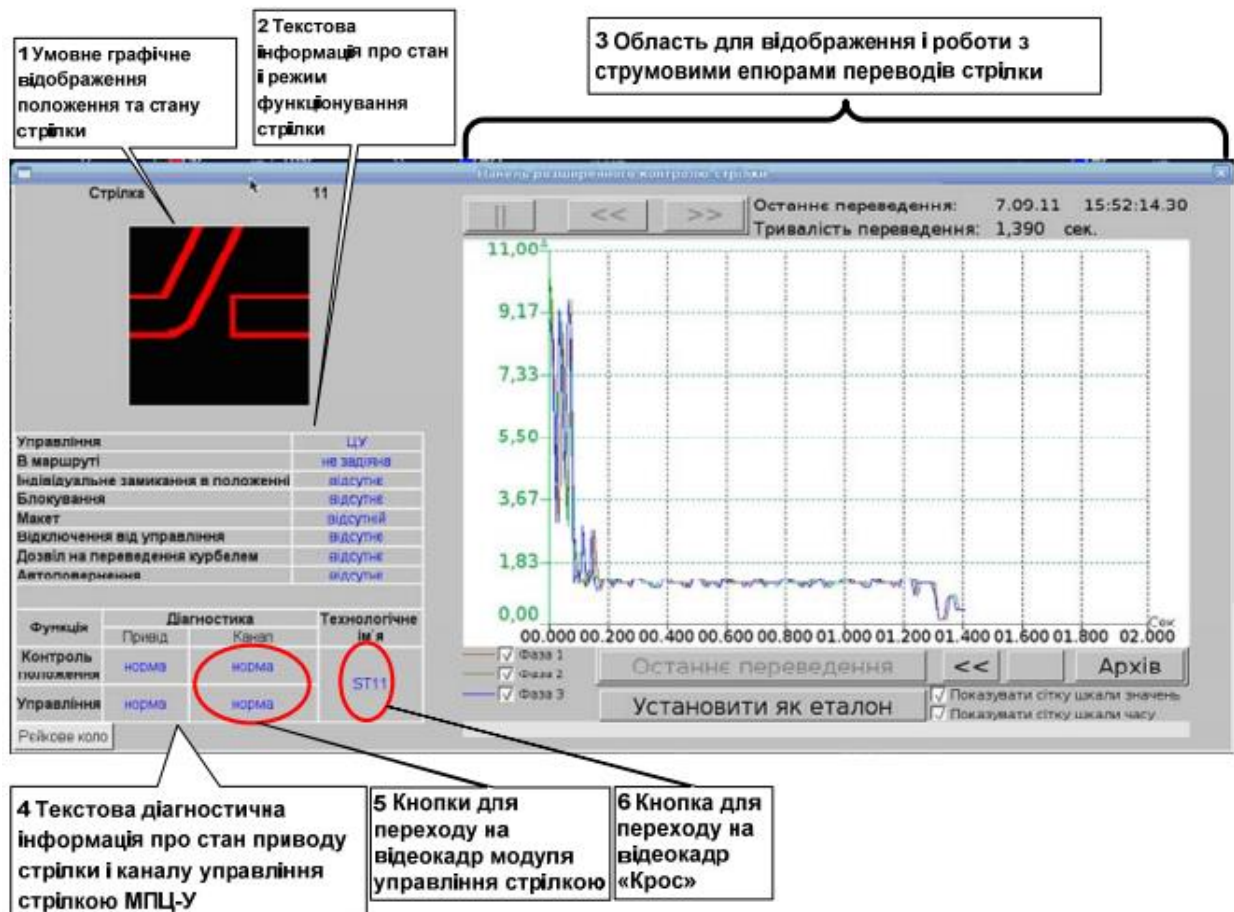


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд відеокадра розширеного стану стрілки

Автоматизоване робоче місце централізації (АРМ-Ц) системи керування та діагностики (ШН СКД) забезпечує функціонал порівняння кривих струму переводу стрілок. Проте визначення технічних несправностей виключно за

допомогою візуального аналізу цих кривих є нетривіальним завданням, що потребує високої кваліфікації електромеханіка та значного досвіду. Крім того, суб'єктивність такого підходу може обмежувати ефективність діагностування.

Виходячи з цього, доцільно зазначити, що реєстрація кривих струму споживання в мікропроцесорних системах електричної централізації (ЕЦ) не потребує додаткового апаратного забезпечення. Сучасні мікропроцесорні системи мають інтегровані програмні засоби, які дозволяють здійснювати як запис, так і базовий аналіз кривих струму без необхідності впровадження спеціалізованих апаратних модулів.

Водночас для підвищення точності й автоматизації діагностичного процесу рекомендовано впровадження алгоритмів обробки сигналів, заснованих на сучасних математичних і комп'ютерних методах. Зокрема, використання підходів машинного навчання, кореляційного аналізу, вейвлет-перетворень чи інших чисельних методів аналізу даних дає змогу автоматично виявляти відхилення в кривих струму, які можуть свідчити про несправності або деградацію обладнання.

Застосування таких алгоритмів мінімізує залежність діагностики від суб'єктивного аналізу оператором, значно підвищує швидкість і надійність виявлення аномалій та дозволяє прогнозувати потенційні відмови на основі виявлених закономірностей. Інтеграція автоматизованих методів діагностики в існуючі мікропроцесорні системи централізації сприятиме подальшому розвитку систем моніторингу та забезпечить підвищення рівня безпеки й надійності функціонування залізничної інфраструктури.

3.4 Висновки до третього розділу

Здійснивши розроблення інструментів для діагностування стрілок у різних типах систем централізації, можна дійти висновку, що найскладніше виконувати діагностику стрілочних переводів у системах електричної централізації релейного типу із традиційними панелями електроживлення. Це обумовлено потребою у створенні окремої підсистеми та залученні

додаткових обчислювальних засобів для автоматизованого аналізу. У системах релейного типу з сучасними панелями електроживлення, наприклад, ШВРП, завдання дещо спрощується, оскільки відсутня потреба у розробленні підсистеми для запису кривих споживання струму. Однак, для оброблення даних усе одно потрібно використовувати додаткове обчислювальне обладнання. Найбільш простою є реалізація діагностики в мікропроцесорних системах централізації, оскільки в цьому випадку достатньо створити лише програмне забезпечення для аналізу даних.

4 РОЗРОБКА МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

4.1 Часовий аналіз відмов за кривою споживання струму стрілкою

Часову залежність струму під час переведення стрілки можна поділити на три етапи. Перший етап характеризується різким стрибком струму при запуску електродвигуна та початку роботи редуктора. На цьому етапі значення струму може досягати трьох- або чотирикратного рівня від номінального струму. Це пояснюється тим, що активний опір обмоток двигуна є невеликим, частота обертання також залишається малою, а шестерні редуктора ще не вступили в зачеплення, тому двигун фактично функціонує в режимі холостого ходу. Саме це і зумовлює настільки різкий стрибок струму.

У двигунах такого типу обмотка збудження з'єднана послідовно з обмоткою якоря, тобто $I_B = I_A$; тому магнітний потік Φ є певною функцією струму якоря. Доцільно представити магнітну характеристику у вигляді трьох етапів:

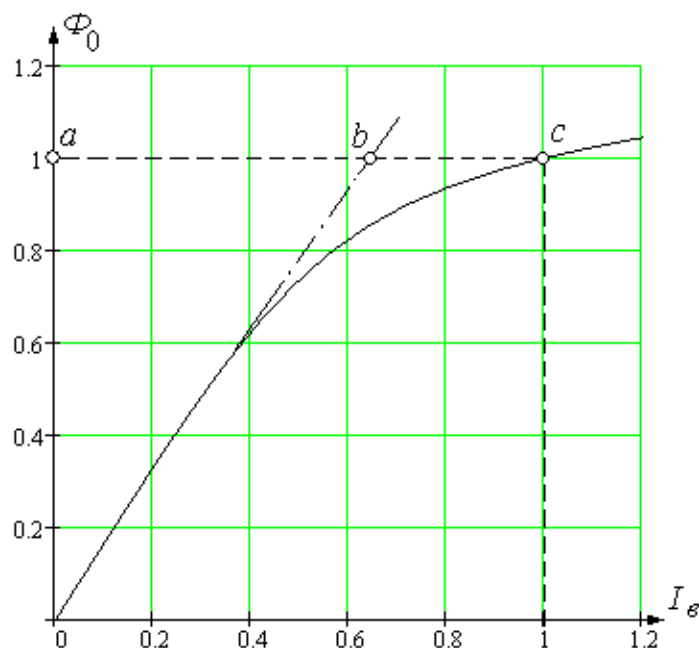


Рисунок 4.1 – Магнітна характеристика двигуна постійного струму

1) в початковій „не насиченій“ частині існує лінійна залежність $\Phi = f(I_{\text{я}})$ [12], тобто

$$\Phi = c\phi \times I_{\text{я}} \text{ при } I_{\text{я}} < (0.8 \div 0.9) \cdot I_{\text{яном}}. \quad (4.1).$$

2) коли на двигуні струм в якорі вищий номінального (правіше точки С) можна вважати, що магнітний потік залишається незмінним, тобто $\Phi = const$;

3) третя ділянка — перехід від лінійної „не насиченої“ ділянки до „насиченої“, де між потоком Φ і струмом $I_{\text{я}}$ існує складна залежність.

У першій фазі часової залежності електричного струму під час переведення стрілки електродвигун функціонує на другій ділянці магнітної характеристики, для якої магнітний потік залишається практично сталим.

Друга фаза часової залежності струму відзначається стабільною лінійною формою, за якої двигун працює в умовах навантаження редуктора, а величина струму не перевищує номінального значення. У цій фазі двигун діє в межах першої ділянки магнітної характеристики.

Третя фаза кривої демонструє процес затухання струму під час зупинки двигуна. На цьому етапі величина струму залишається меншою за номінальне значення струму якоря, що свідчить про повернення до першої ділянки магнітної характеристики.

Для проведення діагностування в умовах ремонтно-технологічних процесів використовується виключно друга фаза. На основі форми часової залежності струму в цій фазі визначено спектр можливих несправностей.

Окрім наведених у таблиці дефектів, що можуть бути ідентифіковані під час діагностики, для стрілочних двигунів можливе виникнення інших пошкоджень, зокрема перегріву обмоток або зниження рівня ізоляції відносно корпусу. Проте, враховуючи короткотривалий режим експлуатації двигунів, перегрів обмоток практично не спостерігається, а падіння рівня ізоляції є винятковим явищем, що, за статистикою відмов, трапляється менш ніж у 1% випадків.

4.2 Частотний аналіз відмов стрілочного двигуна

Крім порівняння кривої споживання струму по формі, також багато інформації надає спектральний аналіз другої ділянки кривої споживання.

Спектральний аналіз - це один з методів обробки сигналів, який дозволяє охарактеризувати частотний склад сигналу, що вимірюється. Перетворення Фур'є є математичною основою, яка зв'язує часовий або просторовий сигнал (або ж деяку модель цього сигналу) з його уявленням в частотній області.

Пряме дискретне перетворення Фур'є кінцевої періодичної послідовності $x(nT)$, $n=0,1,\dots,N-1$ визначається виразом:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk}, k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (4.2)$$

де: $T=1/F$ – інтервал часової дискретизації сигналу $x(t)$;

F – частота дискретизації;

n – номер дискретного вибору (відмінності) сигналу;

k – номер спектрального компоненту сигналу;

$\Omega = 2\pi/NT$ - частота основної (першої) гармоніки сигналу;

$W_N = \exp(-j2\pi/N) = \exp(-j\Omega T)$ - фазовий множник (множник повороту).

Зворотне дискретне перетворення Фур'є має вигляд:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k\Omega) e^{j2\pi nkt/N} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{-nk}, \quad (4.3)$$

Оптимальним підходом для аналізу є застосування спектрального методу, реалізованого за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Ефективність цього методу обумовлена простотою програмної реалізації та високою швидкістю обчислень за умови невеликої кількості дискретних точок у цифровому сигналі. Такий підхід дозволяє виконувати аналіз безпосередньо після завершення переведення стрілки, що забезпечує оперативну готовність до обробки даних наступного стрілочного циклу.

Використання спектрального аналізу на основі дискретного перетворення Фур'є дає змогу мінімізувати затримки в процесі обробки інформації. На

рисунку 4.2 представлено спектр сигналу, який характеризує роботу стрілочного механізму.

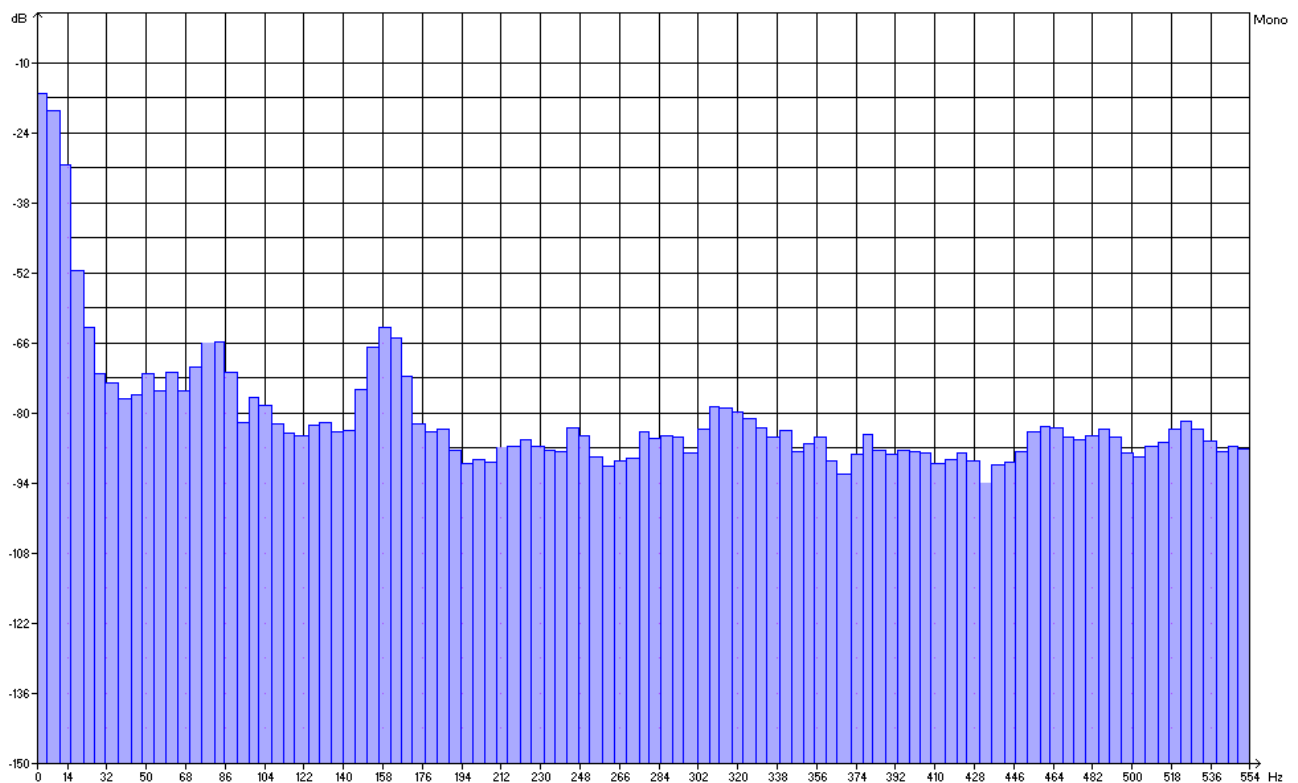


Рисунок 4.2. – Спектр сигналу при нормальному переводі

Спектральний аналіз, подібно до аналізу форми сигналу, може бути виконаний із використанням численних стандартних програмних пакетів на персональному комп'ютері. Для виконання аналізу було застосовано спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене в середовищі MAPLE з метою забезпечення високої точності та адаптивності обчислень. Спектральний аналіз, результати якого представлені на рисунку 4.2, було проведено виключно для другої ділянки часової залежності струму. Це обумовлено тим, що при аналізі всієї часової характеристики струму під час перемикання стрілки виникає значна кількість паразитних "піків", які ускладнюють точну ідентифікацію несправностей.

Для другої ділянки характерна специфічна швидкісна характеристика двигуна. У випадку, якщо магнітне коло двигуна перебуває у стані ненасиченості або має мінімальний ступінь насичення, підставлення

відповідних значень магнітного потоку в рівняння швидкісної характеристики дозволяє уточнити параметри роботи двигуна та оцінити його функціональний стан.

$$n = U - I_{я} \times \sum R) / (C_e \times \Phi) \quad (4.4)$$

і розділивши почленно чисельник на знаменник, тоді

$$n = U / (C_e \times C\phi \times I_{я}) - \sum R / (C_e \times C\phi) = C1 \times U / I_{я} - C2 \quad (4.5)$$

де C1 та C2 – сталі.

Як видно частота обертання обернено пропорційна струму навантаження, тобто вираз (4.5) є рівняння гіперболи.

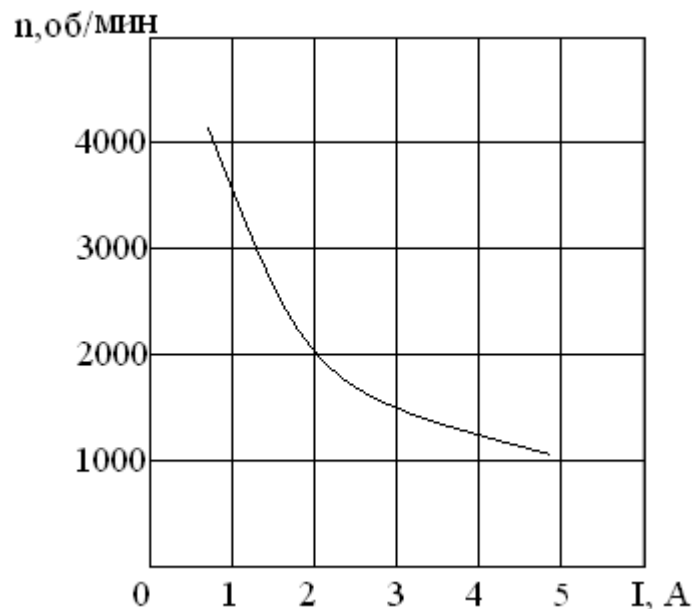


Рисунок 4.3 – Швидкісна характеристика двигуна МСП 0,25

Покращений текст із підвищенням наукового рівня

За підвищених значень струму, коли магнітне коло двигуна насичується і втрачається лінійна залежність між магнітним потоком і струмом якоря, швидкісна характеристика починає відхилятися від гіперболічної форми та поступово набуває "вирівняного" вигляду. Такий тип швидкісної характеристики зазвичай спостерігається на першій ділянці кривої споживання струму стрілочним електродвигуном. Постійна величина C2 у

відповідному рівнянню може змінюватися залежно від наявності резистора в колі якоря та його опору.

У стрілочних електродвигунах постійного струму типів МСП та ДП додаткові резистори в коло якоря зазвичай не вмикаються. Проте опір якоря може варіюватися залежно від конструктивних особливостей конкретного двигуна, що впливає на форму швидкісної характеристики. На рисунку 4.3 наведено характеристику двигуна МСП 0,25 із номінальними параметрами: напруга 160 В і струм 2,5 А.

4.3 Порівняння кривих споживання струму методом допустимих значень та методом інтегралів або площин

Для розв'язання задачі фіксації відмови за визначеними критеріями оцінки необхідно встановити, на яких відрізках кривої споживання електричного струму значення струму перевищують допустимі межі. З цією метою застосовуються коридори допустимих значень, що задаються програмним шляхом. У рамках аналізу передбачено два коридори допустимих відхилень над кривою та два під нею (рис. 4.4).

Величини струму в зазначених коридорах визначаються як 10% та 20% від значення струму на конкретному відрізку кривої. Граничні значення струму, кількість коридорів, а також точки, які використовуються для формування кожного сегмента зразкової та аналізованої кривої, можуть задаватися програмно. Кількість точок на кожному сегменті регламентується параметром дискретизації. Наприклад, для першого відрізка обирається кожна 1000-та точка вибірки, для другого — кожна 200-та, і так далі.

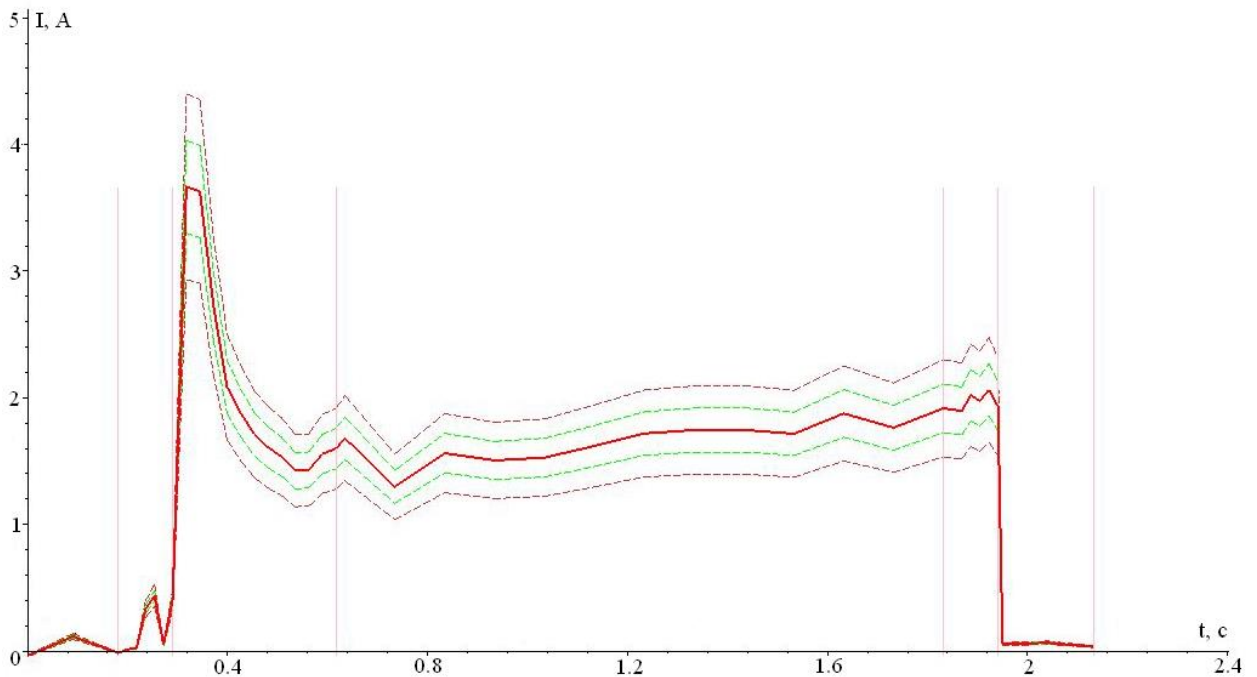


Рисунок 4.4 – Крива струму переходу стрілки з коридорами 10 та 20 %

Розмір першої межі коридору, яка становить 10%, визначено з урахуванням можливих флуктуацій струму кривої споживання, обумовлених незначними змінами кліматичних чинників або температури навколишнього середовища.

Метод допустимих коридорів базується на побудові верхньої та нижньої меж для умовно еталонної кривої, які разом формують так званий коридор. Вихід аналізованої кривої за межі коридору інтерпретується як сигнал про наявність несправності (без детального визначення її характеру).

Перевищення першої межі коридору дозволяє прогнозувати розвиток відмови. У такій ситуації стрілочний механізм працює у штатному режимі, однак процес деградації вже розпочався. Інформація про потенційну загрозу оперативно передається обслуговуючому персоналу. Якщо ж порушується друга межа коридору, активується тривожна індикація, що свідчить про завершену відмову. Для уточнення характеру несправності здійснюється глибокий аналіз кривої споживання струму, включаючи спектральне дослідження, яке забезпечує можливість точного ідентифікування типу відмови.

Друга межа коридору, встановлена на рівні 20%, має суб'єктивний характер і може бути скоригована на основі подальших досліджень або накопичення статистичних даних. Розширення кількості коридорів у програмному забезпеченні сприяє більш точному моніторингу динаміки розвитку несправності, що дозволяє мінімізувати ризик відмови на ранніх етапах.

У випадках перевищення допустимих значень струму на окремих ділянках іноді можлива пряма ідентифікація типу несправності. Наприклад, перевищення на п'ятій ділянці може свідчити про дефекти типу "биття гостряка" або "віджим рамної рейки". Водночас, на четвертій ділянці визначення типу відмови є проблематичним без додаткового аналізу, оскільки потрібно враховувати не лише величину струму, а й характер кривої.

Для оцінки форми кривої на четвертій ділянці застосовується **метод інтегралів**, який передбачає обчислення площі під кривою, що виходить за межі коридору, побудованого для еталонної кривої. Ця площа визначається шляхом обчислення різниці між інтегралами, межі яких задаються точками перетину аналізованої кривої з межами коридору, та обмежуються функціями еталонної та аналізованої кривих.

Такий підхід забезпечує комплексну оцінку відхилень форми кривої та дозволяє виявляти ознаки несправностей навіть у складних і нетипових ситуаціях.

$$S = \int_a^b f_{\text{реал.}}(x)dx - \int_a^b f_{\text{нор.}}(x)dx \quad (4.6)$$

Початкові a та кінцеві b межі обчислюваних інтегралів можуть приймати кілька варіантів значень:

- **точки перетину** аналізованої кривої з верхньою або нижньою межами коридору.
- **межі кускових функцій**, отриманих на основі доступних точок вимірювань.

- **межі сегментів**, на які умовно розділено ідеальну еталонну криву.

Для кожного випадку обчислення:

- $f_{real.}(x)$ значення кускової функції аналізованої кривої відповідають визначеним межам a та b ;
- $f_{кор.}(x)$ значення функції, що описує коридор, обчислюються окремо для його верхньої та нижньої меж у межах a та b .

Розпізнавання типів несправностей

Площа під кривою, яка виходить за межі коридору, потрапляє в певний суб'єктивно визначений діапазон, що дозволяє класифікувати криву до певного виду несправностей.

Приклади розпізнавань:

- **Коротке замикання в колекторі двигуна:**
 - Характеризується наявністю гострих і вузьких піків на четвертій ділянці.
 - Утворюється значна кількість невеликих площ, що виходять за межі коридору.
- **Засипання подушок:**
 - Кількість площ зменшується, але їхні розміри суттєво зростають.
- **Підвищений струм через тертя:**
 - Уся ділянка перевищує допустимі значення коридору, формуючи одну велику площу.

Розширення підходів до аналізу

На додаток до методу інтегралів для аналізу можна застосувати такі методики:

- **Метод динамічних рядів**, що враховує змінні параметри в часовому вимірі.
- **Аналіз рядів Фур'є**, який виділяє гармонійні складові сигналу для більш точного визначення аномалій.

- Інші методи сигнал-аналізу, включаючи хвилькове перетворення та оцінку спектральної густини.

Класи задач і перспективи автоматизації

Задача належить до класу задач розпізнавання образів. Для створення ефективної системи діагностики пропонується впровадити **інтелектуальну систему з елементами штучного інтелекту**, побудовану на основі нейронних мереж. Така система буде здатна адаптивно вдосконалюватися, використовуючи накопичені дані.

Етапи реалізації нейромережевої системи:

- Формування великого обсягу навчальних даних із реальних кривих.
- Попередня обробка даних для формування набору навчальних характеристик.
- Розробка модулів аналізу часових рядів, форми кривої та спектральних властивостей сигналу.
- Постійне доопрацювання алгоритмів на основі нових даних.

Переваги впровадження нейромережевих рішень

Розроблена система дозволить досягти високої точності діагностики, значно знизивши вплив суб'єктивних чинників, а також автоматизувати процеси розпізнавання несправностей. Це сприятиме своєчасному виявленню потенційних відмов і зниженню експлуатаційних ризиків.

4.4 Застосування нейромережевих технологій для діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму

Останнім часом набули значного поширення математичні методи обробки діагностичної інформації, засновані на використанні штучних нейронних мереж. Основними перевагами таких мереж є їх здатність до:

- Виявлення прихованих закономірностей між типами несправностей і характеристиками діагностичних сигналів.
- Прийняття рішень в умовах обмеженої або неповної інформації.
- Автоматичної класифікації форм сигналів.

- Прогнозування можливих відмов із високою точністю.

Застосування механізмів нейронних мереж для діагностики стрілочних переводів на основі часових залежностей струму дає змогу виявляти більшість несправностей у повністю автоматизованому режимі. Це забезпечує оперативне інформування обслуговуючого персоналу про виявлені аномалії, що підвищує ефективність роботи системи.

Штучні нейронні мережі дозволяють здійснювати діагностику всіх відмов стрілочних переводів, для яких визначено відповідні діагностичні параметри. Умовно ці несправності поділяються на дві основні категорії:

- **Несправності, які діагностуються без спектрального аналізу**
Для таких несправностей достатньо аналізу часової залежності струму. Ознаки цих відмов виявляються безпосередньо за змінами форми та величини сигналу.
- **Несправності, що потребують спектрального аналізу**
Ці відмови характеризуються особливостями частотної залежності струму, що вимагає детального аналізу спектральних компонент сигналу для їх ідентифікації.

Використання штучних нейронних мереж у діагностичних системах сприяє не лише підвищенню швидкості та точності виявлення несправностей, а й значному розширенню можливостей автоматизації обслуговування технічних систем.

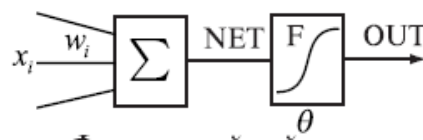


Рисунок 4.5 – Формальний нейрон

Найбільш базовим елементом штучних нейронних мереж є **формальний нейрон** (рис. 4.5). Мережі, побудовані на основі таких нейронів, здатні реалізовувати довільну багатовимірну функцію, забезпечуючи широкі можливості для моделювання складних залежностей у даних.

Формальні нейрони можуть об'єднуватися в мережі за різними схемами, серед яких найпоширенішим є **багатошаровий перцептрон** (рис. 4.6). Така мережа складається з довільної кількості шарів нейронів, що з'єднуються між собою за принципом "**кожний з кожним**". Структурно багатошаровий перцептрон поділяється на:

- **Сенсорний або вхідний шар** (перший, лівий), який приймає вхідні сигнали.
- **Приховані (асоціативні) шари**, що забезпечують обробку сигналів.
- **Вихідний або результуючий шар**, що генерує вихідні дані.

Вихідний шар зазвичай містить один або кілька нейронів, залежно від характеру задачі.

Кількість шарів і нейронів у кожному шарі може бути гнучко налаштована. Зазвичай їх позначають так:

- N_I – кількість нейронів у вхідному шарі.
- N_H – кількість нейронів у кожному прихованому шарі.
- N_O – кількість нейронів у вихідному шарі.

Вхідні сигнали подаються у вигляді вектора x , а результуючі вихідні сигнали формуються у вигляді вектора y .

Особливістю вхідного шару є те, що він не виконує жодних обчислень, а лише передає вхідні дані до прихованих шарів. У зв'язку з цим при описі мережі його можуть як враховувати, так і ігнорувати, залежно від контексту. Якщо позначити загальну кількість шарів у мережі, включаючи вхідний, через N_L , то функціонування багатошарового перцептрона описується через сукупність відповідних математичних виразів, які моделюють передачу сигналів між шарами, активаційні функції та зважування сигналів.

Багатошаровий перцептрон є універсальним інструментом для вирішення широкого спектра завдань завдяки його здатності до нелінійного відображення вхідних сигналів у вихідні результати. Його роботу можна описати формулами:

$$NET_{jl} = \sum_i w_{ijl} x_{ijl} \quad (4.7)$$

$$OUT_{ij} = F(NE_{ij}) \quad (4.8)$$

$$x_{ij(l+1)} = OUT_{il} \quad (4.9)$$

де індекс i – номер входу, j – номер нейрона в шарі, l – номер шару; x_{ijl} – i -й вхідний сигнал j -го нейрона в шарі l ; w_{ijl} – ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона номер j -му шарі l ; NET_{jl} – сигнал NET j -го нейрона в шарі l ; OUT_{jl} – вихідний сигнал нейрона.

Для виконання діагностики необхідно перетворити форму діагностичного сигналу, представленого як графік залежності струму, у цифровий формат. Отримання кривої споживання струму стрілочного двигуна здійснюється шляхом зняття сигналу з резистора, підключеного послідовно до лінійного кола живлення.

Процес реєстрації сигналу виконується за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який забезпечує оцифрування сигналу. Отримані цифрові дані зберігаються у пам'яті комп'ютера для подальшого аналізу.

Після реєстрації діагностичного сигналу проводиться його попередня обробка, яка включає застосування відповідних методів перетворення. На цьому етапі використовуються алгоритми для фільтрації шумів, нормалізації амплітудного діапазону та інші прийоми, спрямовані на покращення якості сигналу перед аналізом (рис. 4.6).

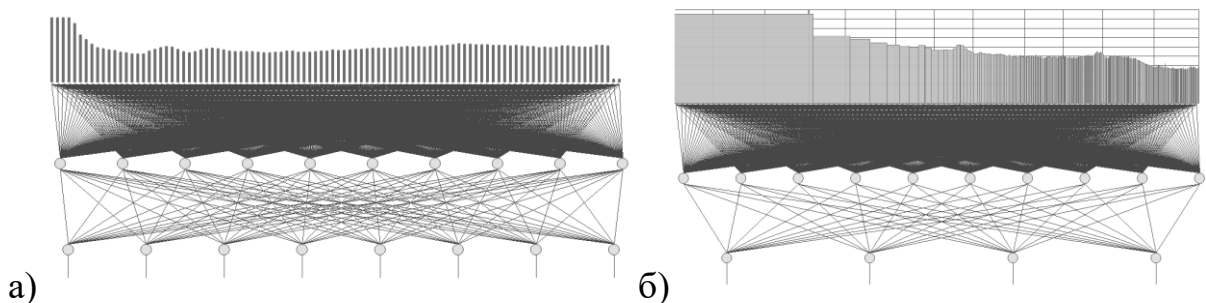


Рисунок 4.6 – штучна нейронна мережа для аналізу діагностичного сигналу
(а – для розпізнавання аномальної форми кривої струму,
б – для виявлення гармонік відмов в спектрі сигналу).

Цей підхід забезпечує точне представлення діагностичного сигналу у цифровому вигляді, що є необхідною умовою для подальшої інтерпретації, аналізу та визначення несправностей.

Перед початком навчання багатошарового перцептрона необхідно визначити його структуру та налаштувати відповідні параметри. Цей процес включає кілька етапів.

– **Вибір конфігурації мережі:**

- Визначається кількість шарів у мережі, включаючи вхідний, приховані та вихідний.
- Задається кількість нейронів у кожному шарі відповідно до складності задачі та обсягу вхідних даних.

– **Задання діапазонів параметрів:**

- Встановлюються діапазони вхідних і вихідних сигналів, що відповідають амплітудам аналізованих сигналів.
- Окреслюються початкові значення вагових коефіцієнтів, граничних рівнів та діапазонів функції активації, що визначає реакцію нейронів на вхідні стимули.

– **Ініціалізація параметрів:**

- Призначаються початкові значення ваговим коефіцієнтам і граничним рівням.
- Задаються додаткові параметри, такі як коефіцієнт крутизни функції активації, якщо його значення може змінюватися в процесі навчання.

Алгоритм навчання та тестування

Процес навчання багатошарового перцептрона ілюструється на прикладі двошарової мережі. Після завершення навчання отримана модель використовується для розпізнавання стану стрілочного переводу на основі струмової кривої, яка не входила до навчальної вибірки. Це тестування

необхідне для перевірки здатності мережі до узагальнення даних і правильності її функціонування.

Альтернативні методи визначення діагностичних ознак

Для підвищення точності та надійності роботи штучної нейронної мережі можливе використання додаткових методів:

- **Метод нечітких множин**, який дозволяє враховувати невизначеності вхідних даних і відхилення від нормативних значень.
- **Вейвлет-перетворення**, що забезпечує аналіз сигналів у часовому та частотному доменах, дозволяючи виявляти локальні аномалії.
- Інші сучасні підходи, орієнтовані на специфіку завдання, наприклад, спектральні методи або методи кластеризації.

Переваги використання комплексних методів

Застосування цих підходів у поєднанні з нейронними мережами дозволяє суттєво підвищити ефективність діагностики. Це забезпечує:

- Точніше виявлення несправностей на ранніх етапах.
- Зниження ризику пропуску або хибного визначення відмов.
- Збільшення адаптивності системи до нових типів даних та умов експлуатації.

Таким чином, вдосконалення методів навчання та використання альтернативних підходів сприяють підвищенню функціональної стійкості та ефективності діагностичних систем.

4.5 Діагностування стрілочних переводів методами кореляції

Взаємкореляційна функція — стандартний метод оцінки ступеня кореляції двох послідовностей. Розглянемо два ряди f і g . Взаємна кореляція визначається по формулі:

$$(f \star g)_i \stackrel{\text{def}}{=} \sum_j f_j^* g_{i+j}, \quad (4.10)$$

де i — зсув між послідовностями відносно один одного, а верхній індекс у вигляді зірочки означає комплексне поєднання. У загальному випадку, для безперервних функцій $f(t)$ і $g(t)$ взаємна кореляція визначається як

$$(f \star g)(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\tau) g(t + \tau) d\tau, \quad (4.11)$$

Якщо X і Y — два незалежних випадкових числа з функціями розподілу ймовірностей відповідно f і g , тоді взаємна кореляція $f \star g$ відповідає розподілу ймовірностей вираження $-X + Y$. Навпроти, згортка $f * g$ відповідає розподілу ймовірностей суми $X + Y$. Функція кореляції має такі властивості:

взаємна кореляція й згортка взаємопов'язані :

$$f(t) \star g(t) = f^*(-t) * g(t) \quad (4.12)$$

тому, якщо функції f і g парні, те

$$(f \star g) = f * g \quad (4.13)$$

Кореляція характеризує взаємозв'язок між двома змінними та може бути **позитивною, негативною** або відсутньою.

- **Позитивна кореляція:** збільшення однієї змінної супроводжується збільшенням іншої, і коефіцієнт кореляції $R > 0$.
- **Негативна кореляція:** зростання однієї змінної пов'язане зі зменшенням іншої, при цьому $R < 0$.
- **Відсутність кореляції:** статистичний взаємозв'язок між змінними не спостерігається, наприклад, для незалежних випадкових величин, і $R \approx 0$.

Кореляційний аналіз

Це метод обробки статистичних даних, що полягає у вивченні коефіцієнтів кореляції між змінними. Він застосовується для виявлення статистичних взаємозв'язків між однією або кількома парами ознак. Мета кореляційного аналізу – отримання інформації про одну змінну через іншу, коли між ними існує кореляція.

Основні властивості кореляції

1. Якщо обидві змінні збільшуються – кореляція позитивна.
2. Якщо одна змінна зростає, а інша зменшується – кореляція негативна.
3. Кореляція оцінює **лінійну залежність**, але не гарантує функціонального зв'язку. Наприклад, змінні $A = \sin(x)$ і $B = \cos(x)$, мають коефіцієнт кореляції, близький до нуля, хоча вони функціонально пов'язані:

$$\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$$

Коефіцієнт кореляції R

- **Визначення:** це числовий показник характеру та сили зміни між двома випадковими величинами.
- **Діапазон значень:** від -1 до $+1$.
 - $R=+1$ ідеальна позитивна лінійна залежність.
 - $R=-1$ ідеальна негативна лінійна залежність.
 - $R \approx 0$ слабкий або відсутній зв'язок.

Чим ближче модуль R до 1, тим сильніший зв'язок між змінними. При $R=1$ або $R=-1$ йдеться про повний (функціональний) зв'язок.

Таким чином, кореляція є інструментом для оцінки ступеня взаємозв'язку між змінними, однак її результати варто доповнювати іншими методами аналізу для перевірки функціонального зв'язку.

Коефіцієнт кореляції Пірсона

Коефіцієнт кореляції Пірсона застосовується для **метричних змінних** (вимірних у кількісній або інтервальній шкалі) і оцінює **лінійну залежність** між ними. Його формула:

$$R = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{D(X) \cdot D(Y)}}, \quad (4.14)$$

де:

- $\text{cov}(X, Y)$ – коваріація змінних X і Y,
- $D(X) \cdot D(Y)$ – дисперсії X та Y.

Альтернативний запис із використанням математичного очікування (E):

$$R = \frac{\mathbb{E}[(X - \mathbb{E}(X))(Y - \mathbb{E}(Y))]}{\sqrt{\mathbb{E}[(X - \mathbb{E}(X))^2] \cdot \mathbb{E}[(Y - \mathbb{E}(Y))^2]}} \quad (4.15)$$

Коефіцієнт Пірсона:

- Знаходиться в межах від -1 до $+1$.
- $R=+1$ ідеальна позитивна лінійна залежність.
- $R=-1$ ідеальна негативна лінійна залежність.
- $R=0$ відсутність лінійної залежності (але можлива нелінійна).

Для графічного представлення зв'язку між змінними використовують діаграму розсіювання, на якій кожна пара значень XX і YY позначається точкою на площині.

Методи кореляційного аналізу залежно від типу змінних

1. **Коефіцієнт Пірсона.** Використовується для змінних із інтервальною або кількісною шкалами, якщо їхній розподіл близький до нормального.
2. **Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена.** Використовується, якщо хоча б одна змінна має порядкову шкалу або якщо розподіл змінних значно відхиляється від нормального.
3. **Коефіцієнт кореляції Кендала (τ (tau)).** Застосовується для оцінки узгодженості порядків (рангів) змінних.
4. **Крапкова дворядна кореляція.** Використовується, якщо одна зі змінних є дихотомічною.

Коефіцієнт кореляції Кендала (τ (tau)). Оцінює ступінь узгодженості порядку пар значень змінних. Використовується для рангових змінних і ситуацій, коли важливо враховувати відхилення від порядку.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена. Визначає зв'язок між ранжованими значеннями змінних і менш чутливий до ненормального розподілу.

Основні властивості коефіцієнта кореляції.

Нерівність Коші-Буняковського. Якщо коваріацію $\text{cov}(X, Y)$ розглядати як скалярний добуток, то модуль коефіцієнта кореляції R задовольняє умову:

$$|R| \leq 1.$$

1. **Умови для $R = \pm 1$.** Коефіцієнт кореляції дорівнює $+1$ або -1 , якщо і тільки якщо змінні X і Y лінійно залежні, тобто існує $k \neq 0$, таке що:

$$Y = kX + b.$$

2. **Незалежність змінних.** Якщо X і Y — незалежні випадкові величини, то $\text{cov}(X, Y) = 0$, а отже $R = 0$. Зворотне не завжди вірно, оскільки відсутність лінійної залежності не виключає можливості нелінійного зв'язку.

Коефіцієнт кореляції є потужним інструментом для оцінки зв'язків між змінними, але його слід використовувати з урахуванням типу змінних та природи їхнього взаємозв'язку.

Для ідентифікації параметрів визначених інтервалів рекомендовано використовувати метод взаємної кореляції. Зазначений підхід до автоматизованого прогнозування технічного стану стрілочного привода базується на порівнянні кривих струму перемикачів, характерних для справного та дефектного пристроїв. Оскільки взаємна кореляція дозволяє оцінити ступінь подібності між двома сигналами, аналіз кривих надає можливість визначення коефіцієнта кореляції. Фіксуючи певний діапазон значень, що відповідає конкретному дефекту, можна ідентифікувати несправність, якщо значення потрапляє в межі цього інтервалу.

Коефіцієнт кореляції змінюється в межах від -1 до 1 . Це дозволяє стверджувати, що криві струму в позитивному напрямку можуть бути застосовані для аналізу зворотного напрямку із допустимою похибкою 10% . Позитивне значення коефіцієнта, близьке до 1 , свідчить про високу подібність сигналів, тоді як негативне значення, наближене до -1 , вказує на схожість кривих із протилежною орієнтацією. Нульове значення коефіцієнта свідчить про відсутність будь-якої подібності між сигналами.

Аналізуючи масиви кривих, встановлено, що коефіцієнт кореляції, що перевищує $0,9$, вказує на справну роботу СП без ознак несправностей. Якщо коефіцієнт перебуває в інтервалі від $0,75$ до $0,9$, це сигналізує про загалом нормальну роботу привода із можливими незначними відхиленнями, які

потенційно можуть еволюціонувати в серйозні дефекти. У такому разі рекомендується проведення профілактичного огляду для виявлення причин відхилень. Значення коефіцієнта менше 0,75 є критичним і вказує на передвідмовний стан пристрою, що потребує негайного втручання електромеханіка.

Хоча порівняння кривих у зворотному напрямку менш доцільне, воно може виявитися корисним у певних специфічних ситуаціях. Таким чином, у процесі аналізу кривих струму стрілочного привода визначають коефіцієнт кореляції, а отримане значення співвідносять із заздалегідь встановленими інтервалами, що дає змогу ідентифікувати характер несправності та вчасно вжити заходів.

Таблиця 4.1 – Зв'язок коефіцієнта кореляції з роботою СП

Значення коефіцієнта кореляції	Стан СП
0,9 - 1	СП без несправностей
0,75 – 0,89	СП без несправностей, але з ускладненням в роботі
< 0,75	Аварійний стан СП

Окрім зазначеного, важливо гарантувати відсутність перешкод у лінії передачі даних, що може спотворювати результати аналізу, а також усунути первинний пік на кривій струму. Для досягнення цих цілей необхідно здійснити корекцію алгоритмів обробки сигналів у програмному забезпеченні. Зокрема, слід реалізувати функції фільтрації шумів і впровадити процедури згладжування сигналу на початкових етапах аналізу, що дозволить мінімізувати вплив артефактів і підвищити точність оцінки технічного стану стрілочного привода.

```

thresholdForRejection = 0.1;
indLessThenThreshold1 = find(data1_ < thresholdForRejection);
data1_(indLessThenThreshold1) = 0;
indLessThenThreshold2 = find(data2_ < thresholdForRejection);
data2_(indLessThenThreshold2) = 0;

```

З метою підвищення швидкості обробки даних програмно здійснюється збільшення кроку дискретизації, що сприяє скороченню кількості точок для

аналізу. Водночас, щоб запобігти втраті суттєвих характеристик сигналу, впроваджується фільтрація із використанням фільтра 30-го порядку. Такий підхід забезпечує ефективне зменшення обсягу обчислень, зберігаючи при цьому точність відтворення ключових особливостей сигналу, необхідних для подальшої діагностики та прогнозування технічного стану системи.

```
data1Decimated = decimate(data1_, 100, 'fir');
data2Decimated = decimate(data2_, 100, 'fir');
```

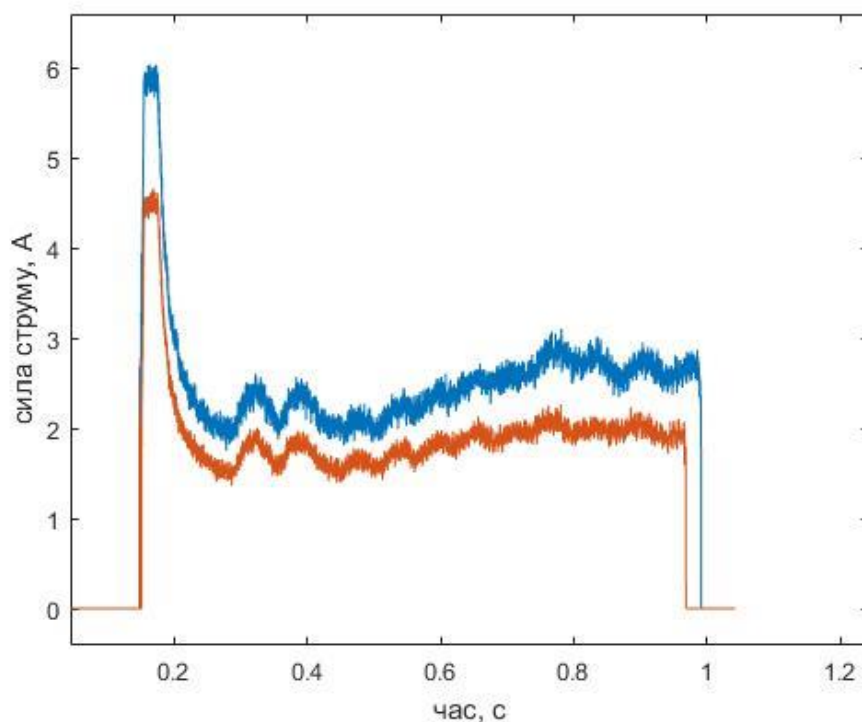


Рисунок 4.7 – Переводи стрілок без відмов після фільтрації

Це рішення дозволяє збалансувати швидкість обробки та якість аналізу сигналу, що є важливим для забезпечення стабільної та точної роботи системи.

4.6 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі, провівши детальний аналіз підходів до діагностування стрілочного перевodu, було акцентовано увагу на використанні взаємкореляційної функції, яка забезпечує ефективне вирішення поставленого завдання. Для цього, за допомогою математичного програмного комплексу **MATLAB**, була створена спеціалізована програма для

моделювання кривих споживання електричного струму та визначення коефіцієнтів кореляції. Крім того, було розроблено таблицю та механізм її інтеграції, призначений для автоматизованого процесу діагностування.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі вирішені наступні задачі:

- проведено аналіз способів контролю та діагностування стрілочних переводів на залізницях України, в результаті якого визначено що жодна система діагностики та контролю які експлуатуються на даний час не дозволяє в повній мірі контролювати стрілочний перевід в автоматичному режимі;

- розроблено методи для підвищення ефективності контролю стрілочних переводів під час їх експлуатації та зменшення часу на їх технологічне обслуговування, з запропонованих 5 методів автоматичного контролю найбільш перспективним є метод визначення стану стрілок за взаємкореляційними коефіцієнтами;

- розроблено засоби для підвищення ефективності контролю стрілочних переводів під час їх експлуатації та зменшення часу на їх технологічне обслуговування в різних системах електричної централізації, зокрема для релейних централізацій з «класичними» панелями живлення, релейних централізацій з сучасними панелями живлення та для мікропроцесорних централізацій.

Використання запропонованих методів та засобів дозволить значно покращити якість технологічного обслуговування, зменшити кількість затримок поїздів та в перспективі скоротити затрати часу обслуговуючого персоналу на перевірки стану стрілочних переводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ0042. / Гол. Розробник Кузьменко Д. М. Затв. наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 26 квітня 2006р. №347-ЦЗ. – Х.: Залізничавтоматика, 2006. 461 с.
2. ЦШ-0060. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), Київ, Укрзалізниця. Затверджено наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України 07.10.2009 № 090-ЦЗ.
3. Правила технічної експлуатації залізниць України. (наказ МТУ від 20.12.96 № 411), з усіма доповненнями. Київ, 2003.
4. ЦШ/0024. Релейно-процесорна та мікропроцесорна централізація стрілок та сигналів. Експлуатаційно-технічні та організаційні вимоги. Київ, 2006.
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. 148 с.
6. 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. 430 с.
7. Бойнік А. Б., Загарій Г. І. Діагностування пристроїв залізничної автоматики та агрегатів рухомих одиниць: Підручник. Х.: Нове слово, 2008. 304 с.
8. Пристрої сигналізації централізації та блокування. Технологія обслуговування: ЦШ 0042 [Текст]. – К.: Укрзалізниця, – 2007. 461 с.
9. Маловічко В. В. Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації контролю їх параметрів //

Дисертація за спеціальністю: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту – 2011. 177 с.

10. Положення про диспетчерське керування рухом поїздів на мережі залізниць України: Затв. Наказ Укрзалізниці 19.02.2013 № 035-Ц/од / М-во інфраструктури України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця. - К.: Інпрес, 2013. 38 с.

11. Скалозуб В. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий) / В. В. Скалозуб, В. П. Соловьев, И. В. Жуковицкий, К. В. Гончаров. – Д.: ДНУЗТ, 2013. – 200 с.