

Ім'я користувача:
Олена Бондаренко

Дата перевірки:
07.06.2023 13:32:02 EEST

Дата звіту:
07.06.2023 13:39:35 EEST

ID перевірки:
1015483494

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005535

Назва документа: Oliinyk_Kostiantyn_Viktorovych_ET_20120

Кількість сторінок: 91 Кількість слів: 17685 Кількість символів: 135071 Розмір файлу: 3.27 MB ID файлу: 1015140735

13.7% Схожість

Найбільша схожість: 8.88% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011427340)

4.32% Джерела з Інтернету 372 Сторінка 93

10.8% Джерела з Бібліотеки 231 Сторінка 96

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 196

ЗАЯВА

Я,	Олійник Костянтин Вікторович
	(ПІБ повністю)
студент групи	ЕТ20120
	(шифр групи)
спеціальності	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
	(код та назва спеціальності)
освітньої програми	Електричний транспорт
	(назва освітньої програми)
освітнього ступеня підготовки	бакалавр
	(бакалавр, магістр)
Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:	
«Розробка алгоритму діагностування низьковольтних кіл живлення	
електровозів постійного струму»	

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

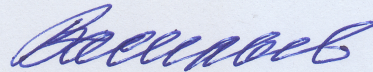
Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 07.06.2023



Костянтин ОЛІЙНИК

Керівник



В'ячеслав ВАСИЛЬЄВ

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕРС

_____/Андрій АФАНАСОВ/
(підпис)

Дата _____

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Розробка алгоритму діагностування низьковольтних кіл живлення електровозів постійного струму»

за освітньою програмою: «Електричний транспорт»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕТ20120»

(підпис студента)

/Костянтин ОЛІЙНИК/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/ст. викл. В`ячеслав
ВАСИЛЬСВ/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/ст. викл. В`ячеслав
ВАСИЛЬСВ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2023 рік

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

Faculty «Energy and economic Process Control»

Department «Electric rolling stock of railways»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Development of a diagnosis algorithm low-voltage power circuits
direct current electric locomotives»

according to educational curriculum «Electrical Transport»

in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and
electromechanics»

Done by the student of the group ET20120:

/Kostiantyn OLIINYK/

Scientific Supervisor:

/Viacheslav VASYLIEV/

Normative controller:

/Viacheslav VASYLIEV/

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Управління енергетичними та економічними процесами»

Кафедра: «Електрорухомий склад залізниць»

Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: «Електричний транспорт»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту Олійник Костянтин Вікторович

1. Тема роботи: «Розробка алгоритму діагностування низьковольтних кіл живлення електровозів постійного струму»

Керівник роботи: Васильєв В'ячеслав Євгенович, старший викладач
затверджені наказом № 144 ст від 06.02.2023

2. Строк подання студентом роботи: 10. 06. 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Системи діагностування магістральних

електровозів ДЕ-1, ВЛ11М6, 2ЕЛ4. Схеми низьковольтних кіл електровозів постійного струму. Схеми живлення низьковольтних кіл електровозів від акумуляторної батареї

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

4.1 Аналітична частина: Огляд систем діагностування магістральних електровозів. Розробка алгоритму діагностування системи живлення електровозів постійного струму.

4.2 Основна частина: Діагностування обладнання електровозу постійного струму. Розробка алгоритму оцінювання технічного стану системи низьковольтного живлення електровозів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структура системи діагностування сучасних електровозів;

Алгоритм функціонування діагностичної моделі; Функція розподілу напрацювань на відмову; Схема живлення кіл управління і заряду акумуляторної батареї; Граф впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на технічний стан акумуляторної батареї; Алгоритм діагностування акумуляторної батареї; Алгоритм аналізу акумуляторної батареї; Алгоритм визначення зміни ємності акумуляторної батареї

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Розділ 1	ст. викл. каф. ЕРС Васильєв В.Є.		
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.03.2023	
2	1 Огляд систем діагностування магістральних електровозів	10.03.2023	
3	2 Діагностування обладнання електровозу постійного струму	01.04.2023	
4	3 Розробка алгоритму діагностування системи низьковольтного живлення електровозів постійного струму	13.05.2023	
5	4 Розробка алгоритму оцінювання технічного стану системи низьковольтного живлення електровозів	20.05.2023	
6	Висновки	05.06.2023	
7	Оформлення роботи	10.06.2023	
8	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.06.2023	
9	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	27.06.2023	

Студент

(підпис)

Костянтин ОЛІЙНИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

ст. викл. В'ячеслав ВАСИЛЬЄВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього рівня «бакалавр» виконана на тему «Розробка алгоритму діагностування низьковольтних кіл живлення електровозів постійного струму» і складається з вступу, чотирьох основних розділів, виконаних на 81 сторінці, містить 25 ілюстрацій, 3 таблиці, переліку посилань, що складається з 10 найменувань і додатків на 9 сторінках. Загальний об'єм роботи 90 сторінок.

Метою роботи є підвищення достовірності діагностування та прогнозування в процесі руху локомотива технічного стану його електрообладнання на основі оптимальної обробки інформації від бортових мікропроцесорних систем управління та діагностування.

В даній роботі виконано:

- розроблено математичну модель систем низьковольтного живлення електровозів;
- розроблені алгоритми діагностування та прогнозування технічного стану систем низьковольтного живлення, які забезпечили підвищення достовірності оцінювання технічного стану електрообладнання електровоза.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульована мета і основні завдання проекту.

Перший розділ присвячений огляду систем діагностування магістральних електровозів як у країнах зарубіжжя так і в Україні.

У другому розділі розглядаються принципи побудови діагностичної системи, прогнозування технічного стану електрообладнання електровоза, реалізація алгоритму дискретного фільтра Калмана-Бьюси.

Третій розділ присвячений розробці алгоритмів діагностування.

У четвертому розділі розглядаються питання визначення технічного стану акумуляторної батареї, реалізації бортового діагностування системи, дослідження розроблених алгоритмів на експериментальній моделі та розглянуто економічний ефект від впровадження алгоритму діагностування.

Ключові слова: алгоритм, система, прогноз, діагностування, параметр, працездатність, живлення, електровоз, акумуляторна батарея, напруга, інформація, управління.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	6
Вступ	6
1 Огляд систем діагностування магістральних електровозів	9
1.1 Системи діагностування лінійної частини на зарубіжних залізницях	9
1.2 Системи діагностування лінійної частини на залізницях України	13
1.3 Висновки до розділу	22
2 Діагностування електрообладнання електровоза постійного струму	24
2.1 Принципи побудови діагностичної системи	24
2.2 Реалізація алгоритму дискретного фільтра Калмана-Бьюси	28
2.3 Прогнозування технічного стану електрообладнання електровоза	35
2.4 Висновки до розділу	40
3 Розробка алгоритмів діагностування системи низьковольтного живлення електровозів постійного струму 2ЕС6 і 2ЕЛ4	41
3.1 Система низьковольтного живлення на електровозах постійного струму ВЛ11М6 і 2ЕЛ4	41
3.2 Постановка завдання діагностування системи низьковольтного живлення електровоза	45
3.3 Показники технічного стану акумуляторних батарей	48
3.4 Побудова фільтра Калмана-Бьюси для системи низьковольтного живлення електровоза постійного струму	52
3.5 Висновки до розділу	57
4 Алгоритми оцінки технічного стану системи низьковольтного живлення електровозів	58
4.1 Визначення технічного стану акумуляторної батареї за величиною внутрішнього опору	58
4.2 Реалізація бортового діагностування системи низьковольтного живлення на електровозі 2ЕЛ4	60
4.3 Дослідження розроблених алгоритмів на експериментальній моделі	67
4.4 Економічний ефект від впровадження алгоритмів діагностування на електровозі 2ЕЛ4	
4.5 Висновки до розділу	75
Висновки	77
Перелік посилань	78
Додатки	79
Додаток А	80
Додаток Б	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

GETS – GE Transportation Systems;

EMD – Electro Motive;

FIRE – Functionally Integrated Railroad Electronics;

TPC – тяговий рухомий склад;

ТО – технічне обслуговування;

ПР – поточний ремонт;

ТЗД – технічний засіб діагностування;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

МСУД – мікропроцесорна система управління та діагностування;

ОЗП – оперативно запам'ятовуючий пристрій;

МСУ – мікропроцесорна система управління;

МНК – метод найменших квадратів;

ЕОМ – електронно обчислювана машина;

СНЖ – система низьковольтного живлення;

МСУЛ – мікропроцесорна система управління локомотивом;

ПСН – перетворювач статичний напруги;

АБ – акумуляторна батарея;

ПЖУ – прилад живлення та управління;

БЗА – блок заряду акумуляторів;

МВРС – моторвагонного рухомий склад;

БРН – блок регулятора напруги.

ВСТУП

Розробка і впровадження засобів діагностування для тягового рухомого складу, як бортових, так і стаціонарних, дозволяють скоротити витрати на ремонти і підвищити коефіцієнт готовності. Об'єднання різних діагностичних систем до відповідних комплексів підвищує безпеку руху і дозволяє отримувати достовірну інформацію про обсяги необхідного ремонту.

Ефективність експлуатації локомотивного парку залежить від оперативної і достовірної інформації про його технічний стан. У перспективі вона може бути підвищена за рахунок часткового переходу до ремонтів по фактичному стану електрообладнання електровоза. Навантаження на систему низьковольтного живлення (СНЖ) невинно збільшується. Це обумовлено, в першу чергу, установкою нового додаткового обладнання і підвищеного енергоспоживання існуючого. У зв'язку з цим може бути недостатнім струм заряду, що видається генератором, отже, акумуляторна батарея буде недозарядженою. Для недопущення подібної ситуації необхідно своєчасно і з високим ступенем достовірності діагностувати технічний стан всіх елементів СНЖ.

Сучасні засоби технічного діагностування та інформаційні системи дозволяють підвищити ефективність експлуатації як тягового рухомого складу, так і всієї залізничної інфраструктури в цілому. Впровадження нових технологій на залізницях були розглянуті в працях багатьох вчених.

Метою роботи є підвищення достовірності діагностування та прогнозування в процесі руху локомотива технічного стану його електрообладнання на основі оптимальної обробки інформації від бортових мікропроцесорних систем управління та діагностування.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні завдання:

- розроблено методику оптимальної оцінки діагностичних параметрів СНЖ електровоза.
- розроблено методику оцінки технічного стану СНЖ електровоза.
- ефективність цих методик підтверджені досвідом експлуатації підсистем діагностування на магістральних вантажних електровозах 2ЕЛ4 та 2ЕС6.
- запропонований і доведений до практичної реалізації комплекс алгоритмів діагностування.
- розроблена та практично реалізована система бортового діагностування електрообладнання електровоза на підставі даних мікропроцесорної системи управління.

Теоретичні дослідження проведені з використанням алгоритмів і методів математичної статистики, теорії ймовірностей і теорії оптимізації. Кількісні оцінки,

налагодження та тестування систем і алгоритмів діагностування проведені за допомогою сучасних засобів автоматизації обчислень.

В даній роботі виконано:

- розроблено математичну модель СНЖ електровозів;
- розроблені алгоритми діагностування та прогнозування технічного стану СНЖ, які забезпечили підвищення достовірності оцінювання технічного стану електрообладнання електровоза.

При практичному використанні результатів дослідження можливо досягти підвищення достовірності діагностування, зниження витрати на технічне обслуговування і профілактику електрообладнання, а також зниження кількості його відмов під час перевезення і скоротити витрати на ремонт і витрати енергетичних ресурсів.

1 ОГЛЯД СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

1.1 Системи діагностування лінійної частини на зарубіжних залізницях

На деяких видах рухомого складу аналіз стану обладнання відбувається на борту, інші передають великий масив діагностичних параметрів на станційне встаткування й там вже по зворотньому зв'язку повідомляють машиністу рекомендації по поведінці обладнання. Останнє підходить для невеликих відстаней, на яких вдається постійно підтримувати зв'язок з локомотивом. Значне місце починає приділятися прогнозуванню стану і відповідного прогнозування ремонту. Такі функції дозволяють покращити використання локомотива. Значне місце починає приділятися оцінці технічного стану не тільки у функції поточного часу, а й з використанням інформації про всю поведінку рухомого складу на протязі всього життєвого циклу. Нижче наведені дані по побудові систем діагностування в зарубіжних компаніях. Як видно, розвиток систем відбувається за різними напрямками.

Розглянемо систему діагностування компанії Expert-On-Alert компанії GE Transportation Systems (GETS). Функціональні особливості цієї системи полягали в наступному. Стан локомотива постійно відстежується з моменту його виходу з депо і протягом всієї роботи з поїздами. Безперервно здійснюється збір і обробка в реальному часі показників, що характеризують роботу основних агрегатів, вузлів і локомотива в цілому. На основі системи глобального позиціонування (GPS), використовуються бездротовий зв'язок а також наземні засоби зв'язку для передачі інформації про місцезнаходження і експлуатаційних параметрах локомотивів. GETS розробила програмне забезпечення, що дозволяє підключати систему приблизно до 20 бортових мікропроцесорів. Вони контролюють стан відповідальних компонентів обладнання локомотива і передають інформацію в центр обробки даних, де ця інформація постійно аналізується фахівцями [4].

Служба дистанційного контролю і діагностики GETS прогнозує можливі відмови в дорозі, ідентифікує потенційні проблеми, дає відповідні рекомендації до того, як проблема може виникнути в дійсності, і уточнює потреби в ремонті і технічному обслуговуванні.

Результати експлуатації системи полягали в наступному. Суттєва перевага системи - поліпшення використання локомотивів завдяки своєчасному обслуговуванню і ремонту. Система, дозволяє більш ефективно використовувати рухомий склад, зменшити кількість відмов і виробляти пропозиції щодо вдосконалення технічного обслуговування. Діагностичні можливості системи Expert-On-Alert сприяють швидкому і точному виконанню всіх операцій з ремонту.

Ремонт необов'язково повинен проводитися в стаціонарних умовах. Заздалегідь знаючи причину ймовірної відмови, можна завчасно ліквідувати її, наприклад, під час звичайної заправки локомотива навіть без його відчеплення від поїзда. Система Expert-On-Alert підвищує впевненість експлуатаційних служб залізниць в тому, що локомотиви перебувають в належному стані і працюють належним чином.

Відділення Electro-Motive (EMD) корпорації General Motors розробило діагностичну систему з наступними особливостями. EMD пропонує встановлювати в кабіні управління локомотива комплект електронного обладнання на базі платформи FIRE (Functionally Integrated Railroad Electronics). Створюється інформаційна мережа, до якої підключені контрольовані локомотиви. Зв'язок між локомотивом і пунктом технічного огляду здійснюється за допомогою бездротової локальної обчислювальної мережі або через Інтернет з використанням комерційно доступних систем телекомунікацій (наприклад, стільникового або супутникового зв'язку). FIRE може збирати, реєструвати і обробляти інформацію в порядку встановленої пріоритетності або шляхом почергового прокручування. Для більш старих локомотивів, не пристосованих до системи FIRE, розробляється система, яка може замінити її.

Діагностика може здійснюватися дистанційно на великій відстані. Система FIRE отримує з локомотива більше 800 сигналів, що визначають основні параметри технічного стану локомотива. Аналіз тенденцій зміни стану, що дозволяє прогнозувати подальший його розвиток. Перевагою системи FIRE є широкий діапазон пропонованих послуг. З її допомогою можна отримувати необхідну інформацію, аналізувати її і сповіщати фахівців служб технічного обслуговування і ремонту про наявність існуючої або потенційної проблеми. Потім видаються рекомендації по швидкому вирішенню проблеми.

Результатами експлуатації системи. При зміні технічного стану вона дозволяє продовжити, якщо це можливо, експлуатацію локомотива або скоротити до мінімуму час простою. Знаючи заздалегідь суть проблеми, можна підготувати необхідні ресурси, запасні частини і вибрати оптимальне рішення про виведення локомотива з експлуатації та його подальшому ремонті. Являє собою дієвий засіб для впровадження системи технічного обслуговування і ремонту по фактичному стану локомотивів.

У перспективі EMD планує запропонувати більш складну систему дистанційної діагностики, що отримала назву EMD Assist. У ній передбачена можливість скачувати з пам'яті електронної системи управління локомотива архівну інформацію, щоб знати про зміну стану компонентів обладнання протягом щодо тривалого часу і з більшою вірогідністю прогнозувати потенційні відмови із зазначенням їх можливих причин. Ця опція може бути реалізована безпосередньо на локомотиві за допомогою переносного комп'ютера або дистанційно.

Працівникам ремонтної служби можна завчасно передавати інформацію про те, якого роду технічне обслуговування необхідно локомотиву, включаючи номери запасних частин.

Компанія Nexterna впроваджує повністю бездротове рішення для системи дистанційного діагностування локомотивів. До складу системи входять контрольно-вимірювальне та комп'ютерне бортове обладнання, засоби зв'язку, основне і допоміжне програмне забезпечення. Все це можна встановлювати як на локомотивах, так і на інших рухомих одиницях, наприклад самохідних колійних машинах. Передбачена також інтеграція бортового обладнання з встановленим в депо.

Для визначення місця розташування рухомого складу Nexterna використовує можливості системи GPS, для взаємодії з якої розроблена прикладна програма OptiTrac. Інформація, отримана від GPS, передається за допомогою сполучного програмного забезпечення OptiPath. Для маршрутизації даних використовуються супутникова, стільниковий або інші види зв'язку локомотива з центральним офісом. У своїй системі моніторингу Nexterna використовує бортову комп'ютерну платформу, яка дістала назву ARC. На цій платформі можуть будуватися різні додатки. Одне з таких додатків - OptiFuel, що входить в сімейство фірмових програмних продуктів OptiSoft, контролює наявність дизельного палива на локомотиві і передачу відповідної інформації на базу. У стадії розробки знаходиться додаток OptiHealth, яке забезпечить автоматичний збір і передачу інформації від різного роду датчиків, встановлених на рухомому складі.

За даними експлуатації система діагностики забезпечує підвищення ефективності використання рухомого складу, зростання продуктивності праці локомотивних бригад і зниження експлуатаційних витрат.

При побудові системи моніторингу Nexterna використовувала поетапний підхід. Спочатку була створена комунікаційна платформа для зв'язку з рухомими об'єктами. Потім поступово, у міру необхідності, додавалися прикладні програми. При цьому в залежності від конкретних потреб можна вибрати потрібні з готових комплектів. Технічні засоби, що забезпечують підтримку програмного забезпечення, також підбираються по потребі, причому їх сумісність дозволяє розширювати комплекс простим підключенням додаткових модулів.

OptiPath за рахунок резервування забезпечує рівень надійності, що гарантує контроль технічного стану і роботи локомотива протягом всього часу. Програми OptiTrac і OptiPath можуть надавати інформацію по мережах зв'язку будь-якого виду. Наприклад, якщо є проблеми із супутниковим зв'язком, OptiPath забезпечує зв'язок за допомогою резервної системи.

Компанія пропонує також систему, адаптовану для малих залізничних компаній, які мають обмежені можливості для впровадження великих

інформаційних систем і стаціонарну базу. В такому випадку концентрація, обробка і передача даних на місця здійснюються в центрі управління.

Компанія ENSCO розробила систему дистанційного моніторингу локомотивів. В системі застосовані готові апаратні, програмні засоби та дві системи зв'язку - супутниковий і стільниковий - для передачі даних в базовий комп'ютер. Для відображення інформації використано табло у вигляді карти, на якій в реальному часі відображаються розташування локомотивів і їх стан, а також виводяться аварійні сигнали в разі виникнення будь-якої проблеми. У число діагностованих показників входять температура, струм тягових двигунів, позиція контролера машиніста, тиск повітря в гальмівній системі.

В даний час ENSCO пропонує більш економічні і надійні системи моніторингу, що володіють великими можливостями в порівнянні з першою, створеною для Conrail. Зокрема, в системі, що розробляється для компанії пасажирських перевезень Amtrak, в число дистанційно контрольованих параметрів, крім традиційних, включені значення прискорення. Завдяки впровадженню цієї системи персонал компанії може в будь-який час отримувати інформацію про кожний локомотив.

В ході випробувань системи з її допомогою вдалося, зокрема, запобігти можливому спалаху третього в сплотці локомотива через перегрів, викликаного відмовою вентилятора. При цьому машиніст ведучого локомотива міг би виявити тільки зниження тягової потужності і приписати це будь-якої несуттєвій несправності. Отримання відповідного сигналу в офісі дозволило ідентифікувати серйозну проблему і вчасно сповістити про неї машиніста до виникнення небезпечної ситуації.

У компанії Siemens AG Система діагностики є модульний пакет. Крім того, система діагностики так побудована, що її завдання виконуються на 2-х різних рівнях:

- 1 діагностика підсистем;
- 2 центральна діагностика електропоїзда.

Діагностика підсистем контролює всі підлеглі одній підсистемі компоненти і функції, діагностує причини неполадок і порушення функцій, вводить їх на місці в пам'ять і посилає повідомлення про порушення функцій в центр системи діагностики електропоїзда. При цьому враховується стан рухомого складу, а виникаючі наступні повідомлення придушуються.

Центральний процесор системи діагностики електропоїзда направляє висновок необхідних сигналів повідомлень і індикацій цільовим групам і вводить в пам'ять повідомлення підсистем про обмеження функцій. Завдання системи діагностики інтегровані в функції електропоїзда як засобу супервізора або функціональні тести компонентів.

Кожна із зазначених функцій самостійно діагностує можливі перешкоди і обмеження функцій, а потім повідомляє про них в центральний комп'ютер системи діагностики поїзда, в якому ці дані вводяться в пам'ять, розподіляються і візуально відображаються.

Бортова система діагностики контролює функції поїзда у всіх режимах роботи. Контроль ведеться постійно, так що в разі несправності відправляється повідомлення про вихід з ладу в центральну систему діагностики електропоїзда. Діагностична система оперує інформацією від більш ніж 200 датчиків по всьому поїзду. Потік інформації від блоку управління до блоку діагностики здійснюється в усіх підсистемах поїзда однонаправлено, тобто інформація, яка виходить із події діагностики не повертається в блок управління. Таким чином, система діагностики і блок управління функціонують незалежно один від одного.

Діагностика підсистем інтегрована в прикладну програму підсистем, тобто використовуються інформації, що надходять від сенсорної техніки, від поїзної шини передачі даних, від сигналів апаратної частини і від станів системи. Підсистеми проводять власну діагностику свого технічного оточення, намагаючись уникнути можливих послідовних помилок. До недоліків можна віднести те, що неможливо коригувати роботу системи за даними експлуатаційних поїздок.

1.2 Системи діагностування лінійної частини на залізницях України

В останні роки на мережі вітчизняних залізниць активно впроваджуються засоби контролю і технічного діагностування при проведенні ТО і ремонтів рухомого складу в депо. В даний час основним напрямком є організація комплексної системи контролю та діагностування вузлів і агрегатів рухомого складу, технічний стан яких в найбільшій мірі впливає на безпеку руху, надійність РС і на експлуатаційні витрати.

У локомотивному господарстві система ремонту тягового рухомого складу (ТРС) із застосуванням засобів контролю і діагностування передбачає отримання інформації про технічний стан локомотивного обладнання кожної одиниці рухомого складу і визначення на основі цієї інформації складу робіт, які повинні виконуватися на черговому технічному обслуговуванні (ТО) і поточного ремонті (ПР), щоб забезпечити необхідні безвідмовність і економічність експлуатації, а також для коригування терміну постановки на чергове ТО або ПР. Для повного впровадження такої системи ремонту депо повинно мати у своєму розпорядженні комплекс технічних засобів діагностування (ТЗД) для основного (в першу чергу - лімітуючого) локомотивного обладнання; організувати додатковий облік даних про роботи, фактично виконуваних на ТО і ПР; а також має бути обладнане автоматизованими робочими місцями (АРМ) з програмним забезпеченням, що дозволяє обробляти статистичні дані і вирішувати завдання прогнозування

залишкового ресурсу ряду вузлів кожної, формуванню рекомендацій щодо термінів і обсягів її ремонту і технічного обслуговування.

Діагностуванням апаратів захисту і кіл управління зайнято 13,9% всіх ТЗД. Ще три групи складають ТЗД, що діагностують електричні машини - 5,7%, гальмівне та пневматичне обладнання - 2,6%, а також прилади безпеки - 2,5%.

Конструкція експлуатованого парку локомотивів і моторвагонного рухомого складу (МВРС) не пристосована до діагностування (не має висновків контрольних точок, важкодоступні вузли та деталі, що підлягають діагностуванню).

У нашій країні завдання діагностування переважно вирішувалися за рахунок стаціонарної діагностики. Однак кошти стаціонарної діагностики не дозволяли забезпечити достатньо високу вірогідність постановки діагнозу. На шляху прямування можна було покладатися лише на інформацію стрілочних приладів і суб'єктивну реакцію машиніста. Лише деякі електровози обладналися спеціальними діагностичними роз'ємами, переважно чеського виробництва. На вантажних електровозах різних серій встановлювалися окремі діагностичні системи, що не набули широкого поширення.

Мікропроцесорні системи управління, що встановлюються на сучасному рухомому складі, відкрили новий період виконання діагностичних функцій на борту локомотивів. З одного боку, з'явилася можливість отримувати діагностичну інформацію за рахунок використання даних, наявних в системі управління. З іншого боку, системам управління була необхідна ширша діагностична інформація, що дозволило б їм розширити і вдосконалити алгоритми і отримати кращі характеристичні рівняння. Перші вітчизняні електровози з мікропроцесорними системами управління виконували в якості діагностичної функції контроль стану деякого обладнання. Індикаторні лампи і панелі на пульті замінювалися відображенням інформації на моніторі машиніста. Подібним чином було виконано діагностичну систему на електровозі 2ЕЛ5 виробництва Луганського електровозобудівного заводу. Складніша діагностична система була виконана на електровозі ЕП2к, вона повідомляла про несправності на локомотиві. Для кожного електровоза сформований значний перелік апаратів і пристроїв електричного, пневматичного, механічного та допоміжного обладнання, стан яких можливо діагностувати в процесі поїздки. Структура системи діагностування сучасних електровозів 2ЕЛ4 і ВЛ11М6 представлена на рисунку 1.1

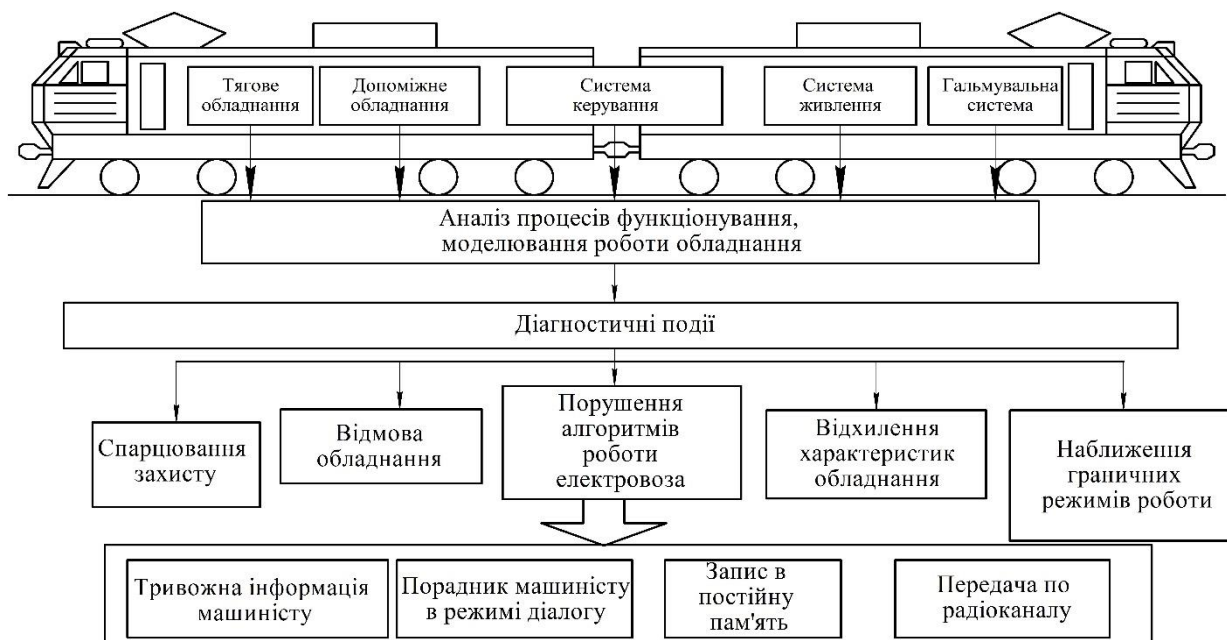


Рисунок 1.1 - Структура діагностичної системи електровоза

Система діагностування цих електровозів вирішує наступні завдання:

- здійснює запис вимірювань параметрів роботи обладнання в процесі поїздки;
- відображає всі процеси в одному часовому інтервалі з метою послідовного аналізу причин пошкодження обладнання та вузлів електровозів;
- реалізовує видачу необхідної інформації про ненормативних режимах роботи обладнання і вузлів електровоза;
- дає конкретні рекомендації для проведення ревізії і ремонту вузлів і устаткування електровозів з їх технічного стану;
- реалізовує розшифровку запису інформації в ідеї доступному для ремонтного персоналу;
- використовує інформацію, що фіксується бортовою системою діагностики при проведенні будь-якого технічного обслуговування (починаючи з ТО-2) та поточного ремонту;
- проводить аналіз результатів вимірювань функціонування апаратури після ремонту в порівнянні з аналогічними результатами вимірювань на попередньому ремонті;
- проводить роботи по визначенню тривалості подальшої експлуатації вузла із зазначенням відсотка можливого дефекту.

У поїздці контролюються наступні параметри:

- значення тисків в гальмівних циліндрах;
- значення струму і його тривалість в пускових опорах;
- значення пускових резисторів на різних позиціях і їх відповідності номіналах з метою визначення порушення включення реостатних контакторів і несправності пускових резисторів;

- параметри роботи тягових двигунів;
- робота протирозвантажувальних пристроїв електровоза;
- наявність боксування колісно-моторного блоку;
- час роботи і режимів допоміжних машин.

Робота бортової системи діагностики не порушує режими роботи електровоза і не спотворює об'єктивність запису вимірювань.

Система діагностування реалізується на трьох етапах:

- 1 на стоянці до підняття струмоприймача,
- 2 на стоянці після підняття струмоприймача,
- 3 під час руху.

У поїзді діагностичні події аналізуються, а сформовані діагностичні повідомлення які служать для:

- негайного інформування локомотивної бригади про несправності;
- видачі рекомендацій локомотивній бригаді з усунення елемента схеми або блоку, що відмовив;
- інформування ремонтних бригад депо по радіоканалу;
- записи в постійну знімну незалежну пам'ять для подальшого аналізу і статистичної обробки.

Як показано на рисунку 1.1 безпосередньо на борту проводяться вимірювання даних про роботу тягового, допоміжного обладнання, низьковольтної системи живлення, гальмівних і керуючих систем. Після вимірювання, фільтрації і відповідної обробки сигналів проводиться аналіз процесів функціонування описаного обладнання безпосередньо в режимі реального часу. Для недопущення граничних режимів роботи і відмов на борту проводиться моделювання режимів роботи, за результатами якого будується прогноз технічного стану і видаються повідомлення машиністу. На підставі виміряної інформації визначаються діагностичні події на борту електровоза, які можуть полягати в наступному:

- спрацювання захистів;
- відмов обладнання;
- порушення алгоритмів роботи електровоза;
- відхилення характеристик обладнання;
- наближення граничних режимів роботи обладнання.

За результатами отриманих даних інформація про діагностичну подію у вигляді діагностичних повідомлень видається машиністу, записується в постійну пам'ять для подальшого аналізу, віддається по радіоканалу для інформування ремонтних бригад депо.

Апаратура засобів діагностування електровозів ВЛ65, ЕП1.

Перехід на сучасні цифрові методи управління в поєднанні з високонадійною елементною базою і автоматичною безперервною діагностикою стану

електрообладнання дозволили створити сучасну систему управління серійним електровозами ВЛ65, ЕП1.

Застосування сучасної елементної бази, такої як мікропроцесорні контролери фірми Octagon Systems, перетворювачі напруги живлення фірми Artesyn, дисплеї фірми Planar, дозволило вирішити поставлені завдання і отримати ефективну систему управління і контролю.

Апаратура мікропроцесорної системи управління та діагностики (МСУД) виконує автоматичне керування електроприводом і електричними апаратами серійного електровоза ЕП1 в режимах тяги і гальмування.

Апаратура МСУД електрообладнання електровоза побудована на програмних принципах обробки інформації, що надходить від датчиків струму, швидкості, кутів комутації, сельсинів, датчиків струму і швидкості, а також ряду дискретних сигналів стану обладнання електровоза. Застосування графічного кольорового дисплея змінює ергономіку пульта машиніста і дозволяє, прибравши цілий ряд стрілочних приладів, відобразити набагато більше технологічної інформації. Сторінковий спосіб відображення дає можливість за запитом з технологічної клавіатури показувати за допомогою одного дисплея результати діагностики всього обладнання. При цьому, завдяки застосуванню кольору в відображенні, легко вдається розділити аварійні, граничні і нормальні значення параметрів.

В апаратурі МСУД передбачений вбудований безперервний контроль, що забезпечує перевірку її справності. При виникненні відмов окремих компонентів апаратура або адаптивно зберігає працездатність, або повідомляє оператору про необхідність вручну переключитися на резерв. При відмовах компонентів на індикаторах відображається факт відмови, стан апаратури після реконфігурації і за допомогою дисплея вказується імовірно пошкоджений конструктивно змінний вузол.

Центральний контролер слугує для забезпечення обміну інформацією та діагностики стану електрообладнання та містить мікропроцесорний контролер 6010 фірми Octagon Systems. Динамічний оперативно запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) функціонує як пам'ять з необмеженими циклами зчитування і запису. У статичному ОЗП розташовані дані поточного циклу управління. Наявність 1 Мбайт флеш-пам'яті дозволяє помістити необхідне для користувача програмне забезпечення.

Апаратура реалізує можливість підключення блоків системи автоведення і безпеки. Для цього використовується плата розширення послідовних портів. Центральний контролер також включає в себе осередок введення в контролер сигналів від дискретних датчиків, осередки виведення релейних сигналів для видачі керуючих впливів на виконавчі дискретні механізми, осередки живлення –

джерела стабілізованої напруги для живлення цифрових і аналогових вузлів апаратури.

Технологічний контролер забезпечує управління електроприводом, послідовно обробляючи сигнали від об'єкта управління і обчислюючи значення вихідних керуючих впливів за програмою, відповідної алгоритму управління.

Існуючі системи управління електровозами побудовані на основі аналогових способів обробки інформації і не відповідають сучасним вимогам. Такі енергозберігаючі технології, як рекуперація, тобто повернення електроенергії в контактну мережу при гальмуванні двигунами і при русі на спусках, практично вперше ефективно реалізовані лише за допомогою апаратури мікропроцесорної системи управління завдяки цифровій обробці сигналів. В режимі рекуперації можливо до тридцяти відсотків економії електроенергії.

Завдяки застосуванню мікропроцесорної техніки апаратура МСУД дозволяє реалізувати на магістральному пасажирському електровозі режим автоматизованого управління (автоведення). База даних для автоведення записується в енергонезалежний накопичувач МСУД при виїзді з депо. База даних містить інформацію про профілі колії, діючі швидкісні обмеження на ділянці проходження і графік руху. Апаратура МСУД, маючи дані про стан силового обладнання електровоза, забезпечує діагностику працездатності систем і запис результатів в енергонезалежний накопичувач для подальшої розшифровки і аналізу в депо.

Ефект застосування нових технологій реалізується вже через півроку експлуатації:

- апаратура не вимагає підстроювань - зниження простоїв і експлуатаційних витрат;
- стійка рекуперація у всіх режимах - економія електроенергії і скорочення зносу гальмівних колодок;
- діагностика електрообладнання - швидкий пошук несправностей.

Технічні рішення на базі використання мікропроцесорних контролерів, блочних каркасів і плат розширення фірми Octagon Systems застосовані також при розробці та виготовленні системи автоведення для електровоза ЕП10, системи збору дискретної і аналогової інформації та в ряді інших проектів.

Апаратура засобів діагностування швидкісного електропоїзда «Сокіл»

Бортова комплексна система управління технічними засобами електропоїзда «Сокіл» призначена для контролю, діагностики та управління ним.

У частині діагностики, система керування електроприводом забезпечує: захист від юза і боксування; захист обладнання електроприводу від електричних і теплових перевантажень; контроль і діагностику працездатності елементів електроприводу; збір, обробку та передачу інформації на верхній рівень.

Апаратура засобів діагностування електропоїзда ЭКр1 «Тарпан»

Для технічного діагностування електропоїзди ЭКр1 використовується комбінована структура, при якій об'єкти - технічні засоби електропоїзда - піддаються як тестовому, так і робочому діагностуванню. Такий підхід застосовується в режимах передрейсового контролю електропоїзда або при пошуку та аналізі причин несправності або відмови обладнання в депо. У штатних експлуатаційних режимах роботи електропоїзда використовується робоче діагностування.

Функції технічної діагностики передбачають контроль стану і параметрів технічних засобів і систем електропоїзда в тому числі самоконтроль блоків і вузлів мікропроцесорної системи управління (МСУ), визначення ймовірної причини відмов або відхилення контрольованих параметрів, а також застосування заходів, що забезпечують працездатність поїзда і безпеку його руху.

Виходячи з вимог по надійності елементної бази, термінів її поставки і відповідності заданим експлуатаційно-кліматичних умов, апаратна реалізація МСУ електропоїзда ЭКр1 виконана на базі уніфікованих промислових контролерів, інтерфейсних плат і модулів вводу / виводу, а також на базі спеціально розроблених інтерфейсних і комунікаційних блоків.

Основною умовою технічного діагностування є отримання оцінки діагностичного параметра x .

Діагностичний параметр x поряд зі своїм номінальним значенням має деяке поле допуску Δx , так що

$$\Delta x = x_{max} - x_{min};$$

тут x_{max} та x_{min} - мінімальне і максимальне, відповідно, допустимі значення оцінюваного параметра x .

Якщо x знаходиться в полі допуску, об'єкт вважається працездатний ($x \in \Delta x: P$), якщо поза ним, то непрацездатним ($x \notin \Delta x: H$).

Тоді щільність розподілу ймовірності $P(x)$ описує діагностичний параметр. Далі варто розділити цю щільність розподілу ймовірності на дві складові: для працездатного стану $P_P(x)$ і непрацездатного стану $P_H(x)$.

Імовірність помилки другого роду, тобто визнання працездатного об'єкта непрацездатним, буде визначатися за формулою:

$$P_2 = \int_{-\infty}^{x_{min}} P_P(x) dx + \int_{x_{max}}^{+\infty} P_P(x) dx + \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_H(x) dx;$$

Імовірність помилки першого роду, тобто визнання непрацездатного об'єкта працездатним, буде визначатися за формулою:

$$P_1 = \int_{x_{min}}^{x_{max}} P_H(x) dx ;$$

Ставиться завдання по вектору виміру визначити вектор оцінок

$$\hat{X}(Y) = \arg \min D(X, Y)$$

і, з певною вірогідністю, оцінити технічний стан.

З появою на рухомому складі мікропроцесорних систем управління (МСУ) почався новий етап у розвитку бортової діагностики. До цього, при розгляді питань про доцільність бортової діагностики враховувалися, з одного боку, економічний ефект від полегшення діяльності машиніста і ремонтника, поліпшення організації руху, з іншого - зниження надійності рухомого складу, тому що для реалізації функцій діагностики були потрібні додаткова апаратура (датчики, лінії зв'язку і т.д.). З появою МСУ значна кількість параметрів вимірюється системою управління. Тобто, в основному, мова не йде про зниження надійності, а про грамотне використання наявної в системі інформації.

Це означає, що при сучасному рівні технічної діагностики відбувається відстеження та аналіз наявних на електровозі процесів, а саме: утворення сил тяги, гальмування, процесу вентиляції, подачі бортового живлення, подачі повітря і т.д. відповідно до керуючими діями машиніста. В результаті виявляються відхилення від очікуваних результатів і визначаються їх можливі причини. На підставі цієї інформації оцінюється стан обладнання і апаратури електровоза, видаються рекомендації локомотивній бригаді і згодом ремонтному персоналу. Як правило, спостерігаючи характеристики процесів не відповідають параметрам обладнання.

При проведенні діагностування один з першочергових питань - визначення співвідношення стану апаратури і характеристик, що спостерігаються. Так, нехай об'єкт O характеризується сукупністю параметрів $x_1 \dots x_n$.

$$O = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Уявлення про стан об'єкта проводиться на підставі спостерігаючих характеристик, які можемо позначити як $y_1 \dots y_k$.

Стан об'єкта на підставі цих параметрів можемо уявити як O_1 .

$$O = f(y_1, y_2, \dots, y_k)$$

Задача бортової діагностики полягає в тому, щоб якомога точніше отримати збіги образу O_1 з об'єктом O . При завданні на систему діагностики повинна бути задана ступінь покриття діагностичних подій.

Цикл збільшення відповідності між O та O_1 , по суті, може відбуватися протягом всього життєвого циклу електровоза (рисунок 1.2).

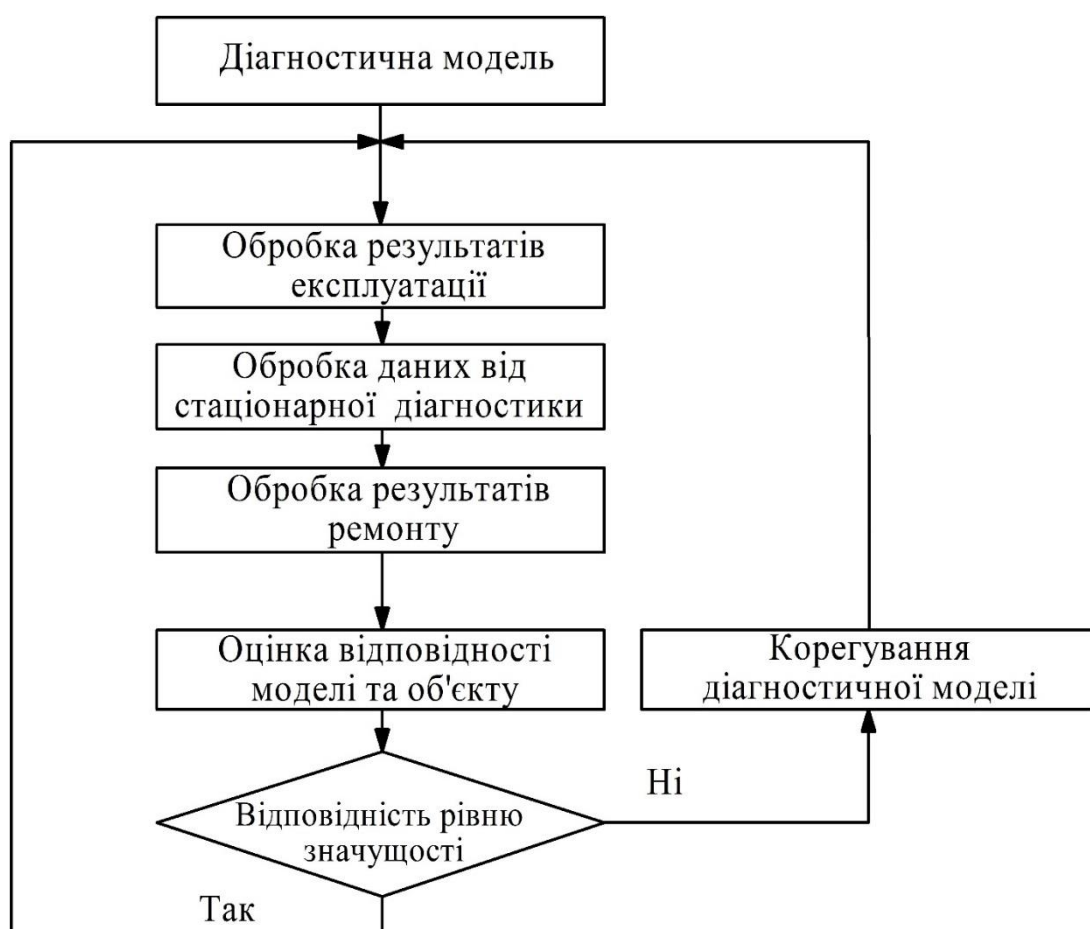


Рисунок 1.2 - Алгоритм функціонування діагностичної моделі

При розробці системи діагностики на підставі наявних знань створюється і закладається в систему деяка діагностична модель O_1 . Тобто визначається відповідність спостережуваних режимів роботи електровоза і характеристик роботи устаткування. З огляду на те, що знання по процесах і режимів роботи обладнання, особливо при його старінні є обмеженими необхідно постійно аналізувати і вдосконалювати діагностичну модель, тобто розглянута діагностична модель повинна бути адаптивною.

Створена діагностична модель в процесі експлуатації повинна підлягати корекції за результатами наступних процесів:

- обробки результатів випробувань;
- обробки результатів експлуатації;
- обробки даних стаціонарних діагностичних систем;
- обробки результатів ремонту.

Після проведеної обробки проводиться оцінка відповідності об'єктів O та O_1 , тобто, то наскільки виявлені відмови і відхилення в режимах роботи обладнання відповідали висновкам бортової діагностики.

У разі якщо відповідність об'єктів виявиться вище рівня значущості, то, можна вважати, що модель адекватна. Відбувається експлуатація створеної системи діагностики і відповідно подальші накопичення і обробка діагностичної інформації. У тому ж випадку, коли рівень значущості виявляється низьким, проводиться корекція діагностичної моделі. Далі, відкоригована модель так само піддається перевірці на підставі даних випробувань, експлуатації та ремонту.

Більш того, при старінні обладнання цілком можливо, що буде необхідно враховувати деякі додаткові характеристики і параметри.

Тому для отримання системи діагностики, яка ефективно працює під час всього життєвого циклу електровоза, необхідно супровід його експлуатації розробниками. При цьому підключення розробників може відбуватися після автоматичного виявлення невідповідності рівнем значущості. Такий аналіз повинен проводитися по групі локомотивів з урахуванням збіжності результатів.

В бортовій діагностиці передбачені наступні режими роботи:

- виконання предпоїздних перевірок;
- діагностування в процесі поїздки;
- передача даних в стаціонарні системи і участь в процесі ремонту обладнання.

Вся інформація про діагностичні події повинна бути використана локомотивною бригадою або ремонтним персоналом, а також проаналізована з використанням спеціалізованого автоматизованого робочого місця (АРМ).

В даний час ведеться робота по створенню і реалізації бортової діагностики, як для нових електровозів 2ЕЛ4, так і минулих поглиблену модернізацію з продовженням терміну служби ВЛ11. Розробляються алгоритми для визначення технічного стану силового обладнання, допоміжного обладнання, системи харчування ланцюгів управління, в тому числі акумуляторної батареї.

1.3 Висновки до розділу

1 Огляд досвіду експлуатації діагностичних систем на зарубіжних залізницях показав, що електрорухомий склад обладнується великою кількістю датчиків для вимірювання параметрів електрорухомого складу в процесі поїздки.

Завдяки використанню сучасних мереж передачі даних інформація від багатьох вимірників не робить істотного впливу на швидкість передачі даних. Склад і обсяг, одержуваної діагностичної інформації дозволяє успішно відстежувати як стан локомотива і поїзда цілком, так і кожного з його вузлів із заданим ступенем глибини і достовірності. Інформація, що служить для ремонтного персоналу депо завчасно передається по радіоканалу, що дозволяє приймати рішення за обсягом ремонту, ще до прибуття поїзда. Великий обсяг діагностичної інформації є однією з причин того, що електрорухомий склад все частіше керується машиністом без помічника.

2 Висока надійність датчиків і ліній зв'язку дозволяє встановлювати на зарубіжному тяговому рухомому складі високу кількість вимірювальної та передавальної апаратури. У реальних умовах експлуатації на залізницях України це неможливо, чим і викликана необхідність діагностування за результатами непрямих вимірювань.

3 Та обставина, що розвиток мікропроцесорної техніки в нашій країні йшов з деяким відставанням послужило причиною і більш повільного розвитку бортових діагностичних пристроїв. Перші вітчизняні електровози з мікропроцесорними системами управління 2ЕЛ5 виконували в якості діагностичної функції контроль лише стану деякого обладнання. Складніша діагностична система, що повідомляє про склад несправності, була виконана на електровозі 2ЕЛ4. Надалі хід розвитку діагностичних систем в цілому повторював зарубіжний досвід і на сучасних і модернізованих локомотивах встановлюються мікропроцесорні системи управління та діагностування, що виконують весь комплекс прямих і непрямих вимірювання, їх обробки, аналізу, відображення і передачі.

2 ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Принципи побудови діагностичної системи

Нехай об'єкт діагностування характеризується технічними властивостями, що описані набором характеристик і параметрів, представлених безліччю $X = (X_1 \dots X_{N1})$ (рисунок 2.1).

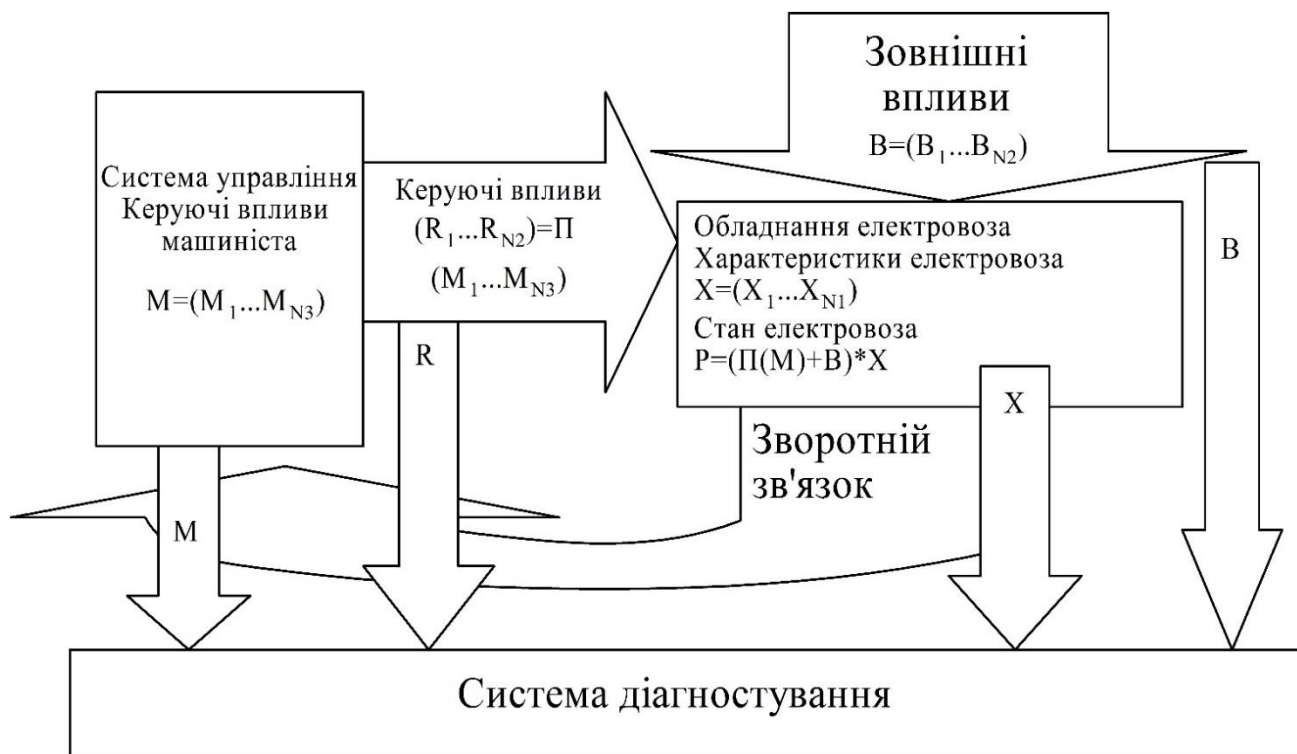


Рисунок 2.1 - Отримання інформації діагностичної системи

На об'єкт діагностування діє підбурюючий та керуючий вплив. Підбурюючі впливи визначаються умовами функціонування об'єкта діагностування, а також роботою інших, зовнішніх, по відношенню до об'єкта діагностування, об'єктів. Позначимо зовнішні впливи безліччю $V = (V_1 \dots V_{N2})$.

Керуючі впливи на локомотив здійснюються або діями машиніста, або системою автоведення. При ручному управлінні машиніст безпосередньо впливає на органи управління, при автоведенні, його вплив містить більш інформаційний характер. Будемо характеризувати керуючі та інформаційні впливи машиніста безліччю параметрів $M = (M_1 \dots M_{N3})$. В результаті перетворення Π , на локомотив подаються керуючі впливу, які опишемо безліччю параметрів $R = (R_1 \dots R_{N2})$, тобто $R = \Pi(M)$.

Характеристики стану системи, в заданий момент часу, визначаються безліччю $P(t) = (P_1 \dots P_{N5})$. Стан визначається, як результат впливу від керуючих і зовнішніх впливів на об'єкт діагностування, тобто

$$P(t) = (\Pi(M(t)) + B(t)) \cdot X$$

Основна мета діагностування: визначити технічні властивості об'єкта діагностування $X = (X_1 \dots X_{N1})$ на підставі спостереження за станом обладнання в різні моменти часу $P(t)$ з урахуванням керуючих $M(t)$ і обурюючих $B(t)$ впливів. З безлічі обурюючих впливів, що діють на поїзд, реально в даний час ми можемо оцінити напругу контактної мережі, поступаючу інформацію сигналів автоблокування, динаміку шляху, що дасть можливість оцінити їх вплив на стан обладнання локомотива, споживання енергії, механічного зносу обладнання і т.д.

Велике значення має аналіз керуючої діяльності машиніста в процесі управління локомотивом. Її результати не просто дозволять визначати причини певних подій, що фіксуються системою діагностування, але і визначити шляхи вдосконалення професійної діяльності машиніста.

На локомотиві проводиться перевірка технічного стану, згідно з регламентом експлуатаційної роботи шляхом подачі спеціально обумовлених керуючих впливів при певному стані локомотива (наприклад, перевірка продуктивності компресорів, перевірка витоку гальмівної магістралі, дії гальм і т.д.). Передбачено проведення цих перевірок в діалоговому режимі (так зване, тестове діагностування), в решту часу експлуатації локомотива здійснюється функціональне діагностування, тобто постійно аналізується процес функціонування обладнання. Тестове діагностування рухомого складу здійснюється відповідно до інструкцій, їм можна користуватися в процесі і після проведення ремонту.

Тобто тестове діагностування, можна уявити, як завдання подачі управляючих впливів, які характеризуються великою кількістю ($M_{\text{зад } i}$), при певному стані обладнання локомотива ($X_{\text{зад } i}$). При цьому проводиться перевірка певних параметрів, що характеризують стан локомотива, ($P_{\text{л}}(t)$), що мають міститися в необхідних межах ($P_{\text{л зад min}} < P_{\text{л}} < P_{\text{л зад max}}$). При цьому система діагностування в діалоговому режимі:

- підказує машиністу порядок дій,
- контролює правильність завдання машиністом необхідних управляючих впливів з достатньою точністю,
- відстежує процеси в результаті подачі управляючих впливів,
- перевіряє їх відповідність нормам і інформує про результати перевірки машиніста,
- записує результати в довготривалу пам'ять.

Результати перевірок можуть бути, в загальному вигляді, представлені у вигляді наступних векторів:

$$\begin{aligned} &[N; T_{j1}; S_{j1}; V_{j1}; M_{\text{зад.і } j1}; P_{\text{л}j1}], \\ &[N; T_{j2}; S_{j2}; V_{j2}; M_{\text{зад.і } j2}; P_{\text{л}j2}], \end{aligned}$$

де - N – код перевірки;

T_{j1}, T_{j2} - астрономічний час початку і закінчення перевірки;

S_{j1}, S_{j2} - координата початку і закінчення перевірки;

V_{j1}, V_{j2} - швидкість локомотива в момент початку і закінчення перевірки;

$M_{\text{зад.і } j1}, M_{\text{зад.і } j2}$ - керуючі впливи від машиніста в момент часу T_{j1} та T_{j2} ;

$P_{\text{л}j1}, P_{\text{л}j2}$ - характеристики стану локомотива в момент часу T_{j1} та T_{j2} .

При цьому слід виділити досить значний перелік перевірок локомотива на стоянці, тобто при $V_{j1} = V_{j2} = 0$. Уявимо за допомогою запропонованої моделі функції, що їх бортовою системою діагностики:

В результаті функціонального діагностування фіксується:

- стан об'єкта, який відповідає заданим керуючим впливам;
- спрацьовування захисту;
- зміна характеристики устаткування.

При перевірці відповідності стану об'єкта заданим керуючим впливам визначальним є інформація про керуючі впливи машиніста або керуючої системи. Для режиму тяги для електровоза це, перш за все, позиції контролера і інших задаючих клавіш і перемикачів пульта машиніста. Перевіряється відповідність стану об'єкта (P) значенням керуючих впливів (M). Таке діагностування проводиться на електровозі при:

- складанні першої позиції, (повинна зібратися схема роботи електровоза в режимі тяги і включитися лінійні контактора) і будь-якого подальшого позиції тяги,

- на реостатних позиціях контролера,
- на ходових позиціях контролера,
- в режимі ослаблення поля,
- в режимі вибігу.

Ці перевірки проводяться безперервно при відповідних режимах роботи обладнання. Системою діагностики фіксується, в загальному вигляді, невідповідність між задаючими впливами і спостережуваним станом об'єкта тобто:

$$P_i \neq (\Pi(M_i) + B) \cdot X.$$

Розглядаються причини події, які були умови руху та, якщо, не відбувалося їх змін, робиться висновок про відмінність властивостей об'єкта діагностування. Таким чином, один з етапів діагностування можемо визначити, як визначення

технічних властивостей об'єкта діагностування через спостерігаючий технічний стан.

$$X_i = P_i / (\Pi(M(t)) + B(t)), \text{ при цьому } X_i \neq X_0.$$

де X_0 - номінальний працездатний стан об'єкта діагностування.

Представляючи, таким чином, процес діагностування, можемо очікувати, що, задавши модель роботи обладнання у вигляді виразу $P(t) = (\Pi(M(t)) + B(t)) \cdot X$, можемо, застосовуючи перетворення $X_i = P_i / (\Pi(M(t)) + B(t))$, отримати шукане значення X_i .

Реальні процеси, які відбуваються в обладнанні локомотива, настільки складні, що, на сьогоднішній день, користуватися таким способом визначення причин несправності не представляється можливим.

У пам'яті бортової системи зберігається масив даних, що характеризує відповідність подій, що фіксуються бортовою системою і можливих причин подій з різною глибиною діагностування. Тобто, якщо спостерігаюча подія може бути представлена частиною вектора стану $P_i = (P_i \dots P_{i+1})$, то система може виробити 'одну або декілька версій події в залежності від інформації, що збирається. Позначимо версії подій матрицею $X_{\text{вер},i}$, що складається в загальному випадку з n версій.

$$X_{\text{вер},i} = (X_{\text{вер},i \ 1} \dots X_{\text{вер},i \ n}).$$

Хотілося б, щоб для спостережуваної події P_i , бортова система діагностування однозначно визначила ставшу відмову, тобто опис об'єкта X_i . Однак така відповідність можлива тільки, якщо відстежується будь-який крок в проходженні керуючої інформації, тобто мова йде про збільшення обсягу апаратури.

Таким чином, в пам'яті бортової системи знаходиться матриці подій і відповідні їм версії матриці станів.

$$P_i \rightarrow X_{\text{вер},i};$$

При цьому якщо проводиться розпізнавання кількості подій, рівного i , то кількість версій K , наявні в пам'яті бортової системи, в загальному випадку, може бути визначено, як

$$K = \sum(i \cdot n_i), \text{ при } i = 0 \dots n.$$

Ці дані формуються при розробці системи на підставі наявних знань і уявлень про функціонування обладнання, досвіду роботи. Розглядаючи відповідність реальних властивостей об'єкта і наявних версій, можемо в загальному випадку сказати, що вектор версій може містити висновок про реальні властивості об'єкта, чи ні:

$$X_i \in X_{\text{вер.і}} \quad \text{або} \quad X_i \notin X_{\text{вер.і}}$$

причому ці дві події складають повну систему подій.

$$P((X_i \in X_{\text{вер.і}}) \vee (X_i \notin X_{\text{вер.і}})) = 1$$

Система діагностування, розроблена для електровоза, є адаптивною (рисунок 2.1). При фіксації на поїзді діагностичної події P_i , виникають версії цієї події, які у вигляді підказки, при необхідності, видаються машиністу в діалоговому режимі. Подія P_i записується в постійну пам'ять, а потім передається на стаціонарне АРМ діагностики і далі видається також у вигляді деяких версій ремонтному персоналу. При відсутності збігу реальних причин однією з версій представленою бортовою діагностикою події стаціонарне АРМ звертається до персоналу з вимогою занести цю версію в пам'ять бортової системи.

2.2 Реалізація алгоритму дискретного фільтра Калмана-Бьюси

Одна з найважливіших задач діагностування полягає в наступному: потрібно найкращим чином витягти інформацію про досліджуваний процес з вимірювань деяких його характеристик, вимірювань-часто непрямих і проведених з похибками (зашумлених). Це необхідно для прийняття правильних рішень по спостереженню за досліджуваним процесом або виробленні оптимального управління. Виникнення такої проблеми, яку називають завданням фільтрації або оцінювання, пов'язане з тим, що в будь-якій системі зв'язку або управління не всі характеристики процесів задані точно.

Перші розробки ефективних математичних методів рішення задач фільтрації можна віднести до часів Г. Галілея, А. Лежандра і К. Гаусса. Гауса, належить перше вживання поняття оцінювання. Гаус розробив метод найменших квадратів (МНК), який є одним з основних в теорії прогнозування і фільтрації. Метод найменших квадратів дозволив вирішити задачу прогнозу в разі непрямих спостережень

процесу на кінцевому проміжку часу, МНК став потужним апаратом при вирішенні задач прогнозу і фільтрації. Недоліком методу, в первісному його варіанті, було те, що під час вступу нової інформації про спостережуваний процес для уточнення оцінки потрібно проводити розрахунок в повному обсязі, тобто з самого початку. К.Гаус запропонував новий варіант методу найменших квадратів, який дозволив під час вступу нових вимірів лише уточнювати раніше отриманий результат. Таким чином, була розроблена рекурентна версія методу найменших квадратів.

Р. Калман спільно з Р. Бьюси отримав аналогічний результат для безперервного часу. Ця задача фільтрації була сформульована в просторі станів, виведений матричний варіант рівняння Вінера-Хопфа, який перетворений в еквівалентну йому систему диференціальних рівнянь.

Роботи Р. Калмана, Р. Бьюси і Р.Л. Стратоновича відкрили новий етап в розробці методів розв'язання задач оцінювання і прогнозу. До переваг процедури фільтрації Калмана-Бьюси відносяться рекурентність алгоритму і його ефективна реалізація на ЕОМ.

Питання фільтрації негаусовських процесів і нелінійної фільтрації не настільки добре вивчені через їх складності та відсутності єдиного підходу до вирішення таких завдань.

Технічний стан електровоза в цілому і окремих його систем в будь-який момент часу однозначно характеризується певним набором величин, часто недоступних для безпосереднього визначення. У термінах векторної алгебри, ці величини є елементами вектора стану системи, віднесеного до заданого моменту часу t

$$x_{t+1} = \Phi_t \cdot x_t + q_t,$$

де $x_t - (n \times 1)$ - вектор змінних стану,

$\Phi - (n \times n)$ - матриця переходу,

$q_t - (n \times 1)$ - «білий шум», що володіє властивістю некоррелированности двох сусідніх значень.

Крім того, є ряд змінних, деяким чином пов'язаних зі станом системи, які можна виміряти з заданою точністю; такі величини складають вектор спостережень (вимірювань), що відносяться до певного моменту часу. Спостереження у вигляді суміші сигналу і перешкоди

$$y_t = H_t \cdot x_k + r_k,$$

де $y_t - (m \times 1)$ - вектор вимірювань,

$H_t - (m \times n)$ - матриця вимірювань,

$r_k - (m \times 1)$ - вектор помилок вимірювань.

Алгоритм дискретного фільтра Калмана реалізується в два етапи і його можна зобразити у вигляді п'яти основних рівностей: перший етап - корекція апіорної оцінки,

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t(y_t - H_t \cdot \hat{x}_{t|t-1}),$$

$$K_t = P_{t|t-1} \cdot H_t^T (H_t \cdot P_{t|t-1} \cdot H_t^T + R)^{-1},$$

$$P_t = (I - K_t \cdot H_t) \cdot P_{t|t-1},$$

другий етап - екстраполяція оцінок $\hat{x}_k$ і $\hat{P}_k$ на момент часу $t + 1$. Індеси $t, t|t - 1$ означають, що оцінка проводиться для моменту часу t з використанням інформації, доступної в момент часу $t, (t - 1)$, відповідно.

Тут I - одинична матриця, K - матриця посилення; R - коваріаційна матриця, t - поточний момент часу.

Для реалізації рекурентної процедури фільтрації необхідно задати початкові апіорні вектор стану $\hat{x}_0$ і коваріаційну матрицю $\hat{P}_0$.

Однією з характеристик технічного стану системи низьковольтного живлення (СНЖ) електровоза є відповідність її параметрів допустимим (заданим розробником) значенням.

Позначимо вимірювані параметри матрицею $\bar{X}$, а параметри, що характеризують систему $\bar{Y}$. Як правило, вимірювати деякі параметри, що характеризують СНЖ на борту електровоза неможливо або занадто складно. Виходячи з цього, ставиться завдання знайти такі параметри, доступні для вимірювань, щоб

$$\bar{Y} = f(\bar{X})$$

У загальному випадку система рівнянь нелінійна. Так як залежності результатів вимірювань від оцінюваних параметрів є досить гладкими, доцільно перейти до лінеаризованих рівнянь. Тоді рівняння набуде вигляду:

$$\bar{Y} = H\bar{X}$$

Запишемо рівняння спостереження в відхиленнях щодо розрахункової точки. Для цього скористаємося розкладанням в ряд Тейлора.

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x - a) + \dots + R_n(x), (a \leq x < b)$$

Перейдемо до лінеаризованих функцій, взявши першу похідну:

$$\Delta f = \frac{\partial f_i}{\partial X^P} \Delta X$$

Тут елементами матриці ΔX є відхилення.

Тоді елементами матриці H будуть:

$$h_{11} = \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Delta x_1, \quad h_{12} = \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Delta x_2, \quad h_{mn} = \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \Delta x_n.$$

На рисунку 2.2 представлена модель системи обробки даних вимірювань.



Рисунок 2.2 - Модель співвідношення вимірних і діагностуючих величин

Таким чином:

$$\bar{Y} = f\bar{X}$$

Запишемо матрицю відношення вимірних і діагностованих параметрів:

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \bar{X}$$

Рівняння вимірювання при відсутності шуму набуде вигляду:

$$\bar{Y}_t = H_t \cdot \bar{X}_t$$

тут H - матриця вимірювань.

У реальних умовах експлуатації існує безліч причин і джерел виникнення шумових збурень.

Шум спостережень пояснюється тим, що вимірювачі піддаються впливу перешкод і дрейфу. У систему можуть надходити неконтрольовані сигнали. Вони мають характер вхідних, але не контролюються оператором. Наприклад, вплив зміни температури на характеристики датчиків. Характер перешкод може змінюватися в широкому діапазоні. Одним із способів опису перешкод є введення стрибкоподібних і імпульсних впливів. Іноді перешкоди можуть бути виміряні окремо, але частіше вплив перешкод виявляється по їх сукупному ефекту.

Характерною особливістю шуму, є те, що значення перешкоди не відомо заздалегідь. Однак інформація про минулі значення може бути використана в подальшій обробці даних.

На достовірність оцінки технічного стану електровоза надаватиме похибка застосовуваних при вимірах датчиків.

Як характеристики засобів вимірювальної техніки (в даному випадку датчиків) використовується клас точності. Класи точності регламентується стандартами на окремі види засобів вимірювання з використанням метрологічних характеристик і способів їх нормування.

У зв'язку з можливими помилками вимірювань і встановленим класом точності на засоби вимірювання параметрів СНЖ $\bar{Y}_t = H_t \cdot \bar{X}_t$ необхідно доповнити вектором помилок вимірювань $\bar{v}_t$

Тоді це рівняння набуде вигляду:

$$\bar{Y}_t = H_t \cdot \bar{X}_t + \bar{v}_t$$

Завдання полягає в тому, щоб оцінити технічний стан з зашумлених спостережень.

При цьому завдання розбивається на три самостійних:

- вимірювання $\bar{Y}_t$ використані для оцінки $\bar{X}_t$ в момент часу t (діагноз),
- вимірювання $\bar{Y}_t$ використані для побудови оцінки $\bar{X}_{t-s}$ в попередній момент часу $(t - s)$ (генезис),
- вимірювання $\bar{Y}_t$ використані для побудови оцінки $\bar{X}_{t+s}$ в момент часу $t + s$ (прогноз).

У зв'язку з тим, що як показано в рівнянні $\bar{Y}_t = H_t \cdot \bar{X}_t$, параметри системи змінюються в часі, тобто є динамічними, використовувати методи байєсівського типу (наприклад, МНК) важко. Для оцінки стану системи доцільно застосувати фільтр Калмана.

Для реалізації рекурентної процедури фільтрації необхідно знати початкову оцінку x_0 , а також коваріаційну матрицю помилки оцінювання $P_{0|0}$; вони можуть бути отримані на підставі будь-якої апіорної інформації.

Нижче наведено алгоритм використання фільтра Калмана. У третьому розділі буде описано його застосування для СНЖ електровоза постійного струму.

Для реалізації рекурентної процедури фільтрації задані початкові апіорні вектори оцінки $\hat{x}_0$ і коваріаційна матриця оцінюваних параметрів $\hat{P}_0$ (рисунок 2.3).

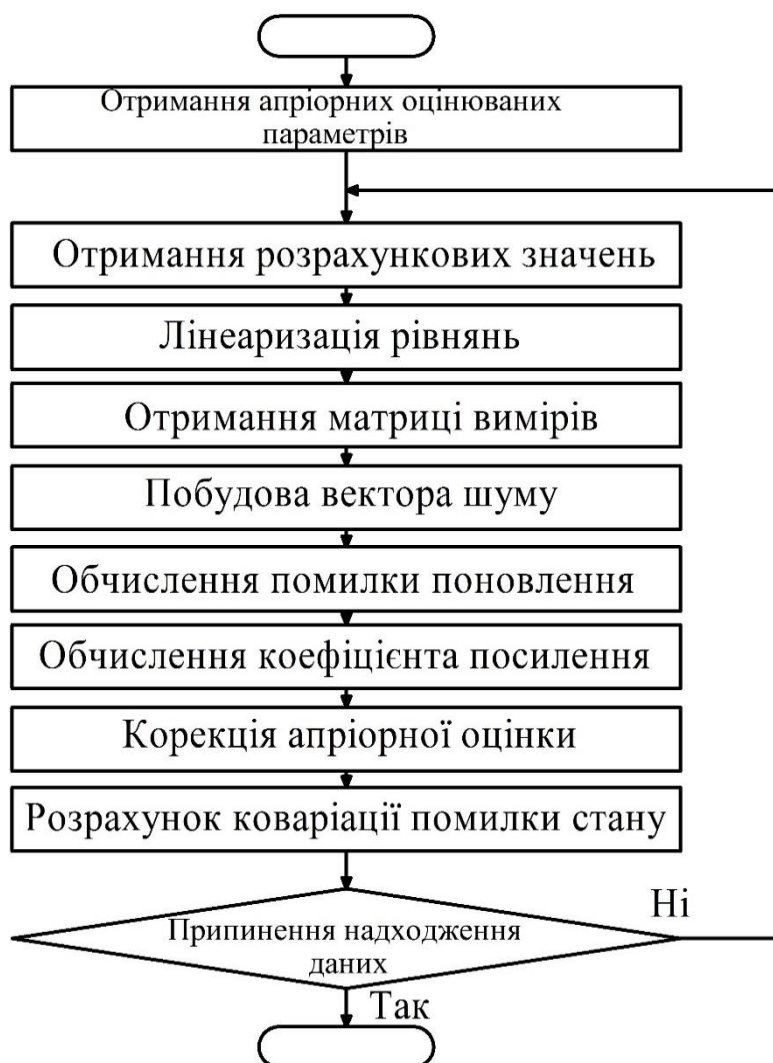


Рисунок 2.3 - Алгоритм застосування фільтра Калмана-Бьюсі

Розрахунок коефіцієнта посилення Калмана, елементів вектора параметрів, що контролюються і коваріації помилки стану проводиться за формулами:

$$\hat{x}_{t|t} = \hat{x}_{t|t-1} + K_t(y_t - H_t \cdot \hat{x}_{t|t-1}),$$

$$K_t = P_{t|t-1} \cdot H_t^T (H_t \cdot P_{t|t-1} \cdot H_t^T + R)^{-1},$$

$$P_t = (I - K_t \cdot H_t) \cdot P_{t|t-1},$$

Відмови вузлів і деталей електричного обладнання локомотивів в процесі експлуатації є наслідком впливу випадкових факторів. Їх сукупність впливає на величину працювання обладнання на відмову.

Для опису випадкової величини напрацювань на відмову і характеру її зміни необхідно визначити закон її розподілу.

Аналіз процесів відновлення однотипного обладнання електровозів в одному і тому ж періоді спостереження (міжремонтний період) показує, що інформація про напрацювання на відмову обладнання є усіченою. Усічення інформації обумовлено перериванням експлуатації обладнання (припинення спостереження) після виключення електровозів з парку або постановки їх на черговий плановий ремонт для відновлення розглянутого обладнання.

Функція розподілу напрацювань на відмову представлена лівою своєю частиною. У момент проведення чергового планового ремонту при пробігу L значення функції розподілу дорівнює $\hat{F}_y$ (рисунок 2.4.). Для того щоб прогнозувати зміни показників надійності обладнання в область великих напрацювань, необхідно отримати повну функцію розподілу.

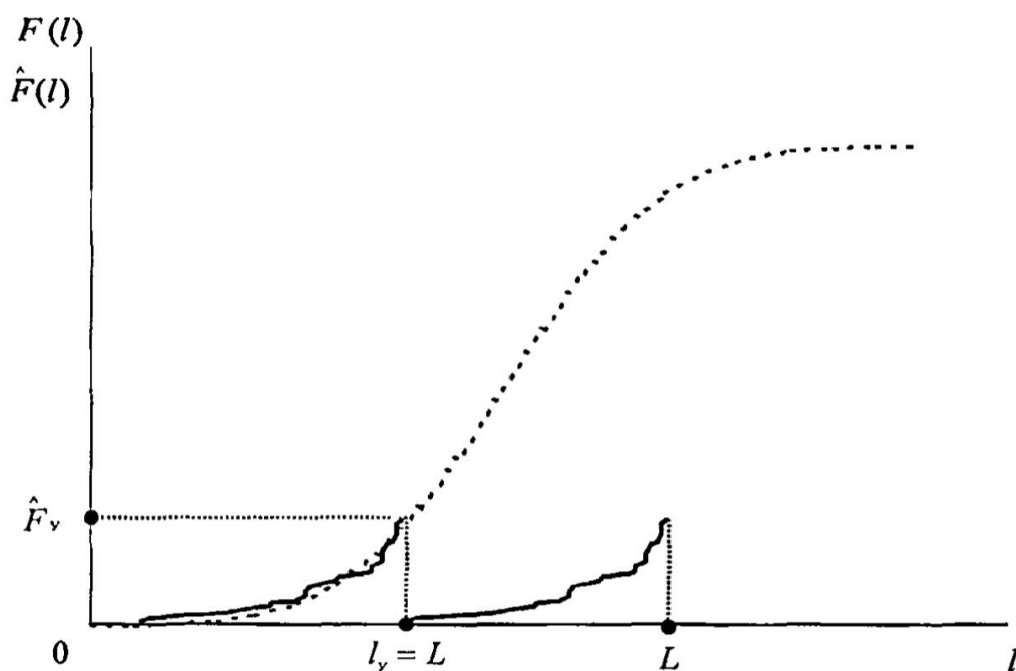


Рисунок 2.4 - Усічена функція розподілу напрацювань на відмову

Задача вибору закону розподілу і розрахунку його параметрів може бути вирішена підбором такої повної теоретичної функції розподілу, яка з найбільшою точністю буде апроксимувати усічену емпіричну функцію розподілу. В якості цільової функції для вирішення цього завдання була обрана сума квадратів відхилень розрахункової і теоретичної функцій розподілу:

$$S = \sum_{l=1}^n [F(l_i) - \hat{F}(l_i)]^2$$

Для визначення числових характеристик теоретичної функції розподілу напрацювань на відмову необхідно задатися різними значеннями цих характеристик з інтервалу можливих значень. Цикл підбору параметрів розподілу повторюється для кожного з передбачуваних законів.

В результаті розрахунку буде підібраний тип розподілу і числові характеристики, при яких цільова функція набуде мінімальне значення. Теоретична функція розподілу вибирається порівнянням з емпіричної тільки на інтервалі спостереження і вважається, що теоретична функція і її числові характеристики будуть незмінними в області великих напрацювань.

Розподіл підпорядковується нормальному закону, якщо на зміну випадкової величини впливають багато приблизно рівнозначних чинників, дія яких підсумовується. Модель нормального закону розподілу добре описує відмови, що виникають в елементах конструкції локомотивів в процесі зношування, втоми і корозії деталей, що працюють в номінальних (розрахункових) режимах навантаження.

Розподіл Вейбулла використовується в якості математичної моделі відмов систем, що складаються з рядів елементів, з'єднаних послідовно з точки зору забезпечення безвідмовності систем.

Гамма-розподіл застосовується для аналізу відмов, що виникають внаслідок зносу при досить стабільній технології виготовлення елементів і короткому періоді їх підробітки. Прикладом можуть служити відмови елементів електрообладнання, відмови підшипників двигунів і механізмів.

2.3 Прогнозування технічного стану електрообладнання електровоза

Часто оцінити технічний стан обладнання електровоза важко через корелірованість несправностей між собою. Відомі способи визначення ступеня пов'язаності двох подій, наприклад оцінювання коефіцієнта кореляції. Однак проблема, вказує чи отримана оцінка коефіцієнта кореляції на залежність двох подій з необхідною достовірністю чи ні, залишається і потребує вирішення.

Щоб прогнозувати процес зміни контрольованих параметрів розглянутих деталей і вузлів з метою визначення їх ресурсу необхідно визначити вид і параметри аналітичних залежностей числових характеристик від напрацювання. За значеннями числових характеристик і закону розподілу можна прогнозувати процес їх зміни при великих пробігах з метою визначення ресурсу обладнання, для

чого визначаються аналітичні залежності середніх значень m_x і середньоквадратичних відхилень σ_x від пробігу.

Швидка дія застосовуваних в даний час обчислювальних засобів дозволяє при використанні спеціалізованого програмного забезпечення безперервно, в режимі реального часу, проводити розрахунок параметрів устаткування, що експлуатується на основі постійно накопичуваних статистичних даних. Оперативний прогноз технічного стану локомотивів дасть можливість гнучко змінювати періодичність і величину міжремонтних пробігів.

Аналіз даних, отриманих в депо, показує, що на всіх видах оглядів і ремонтів виконується однотипна робота з усунення досить вузького списку несправностей обладнання рухомого складу, причому ці несправності вже привели до виходу з ладу агрегата або вузла. Тобто усунення неполадок проводиться лише тоді, коли вони привели до явної відмови. Ті операції, які передбачені правилами деповського ремонту, і обслуговування рухомого складу є ефективними лише там, де досить зовнішнього огляду або огляду із застосуванням вже існуючого контрольного інструменту.

В процесі, як технічного обслуговування, так і ремонту устаткування електрорухомого складу стоїть завдання не тільки встановлення факту відмови, але і його прогнозування. На всіх стадіях експлуатації електричного обладнання локомотивів відбувається поступова зміна технічних параметрів його агрегатів, вузлів і деталей, що викликається впливом цілої сукупності зовнішніх і внутрішніх факторів, які, в основному, можна звести до старіння і зносу. Накопичення порушень технічних параметрів системою поступово призводить її до відмови.

Поступові відмови, обумовлені старінням, зношуванням, разрегулюванням обладнання, що призводять до зміни параметрів і виходу їх показників за межі технічних вимог, можна прогнозувати, якщо забезпечити контроль зміни характеристик обладнання. У зв'язку з цим, для попередження відмов обладнання необхідні чітко визначені характеристики його параметрів і їх критичні значення.

Для контролю працездатності електрорухомого складу потрібне підтвердження нормального функціонування всіх його елементів. Вирішення цієї проблеми ускладнюється необхідністю проведення значних обсягів і кількості контрольних операцій.

Отримати надійні результати і при цьому скоротити час проведення перевірочних операцій представляється можливим лише при використанні сучасних засобів і методів технічного діагностування. З точки зору змісту електричної апаратури, необхідно визначати стан, як окремих елементів, так і всієї апаратури в цілому на всіх етапах її експлуатації. Це викликано великим розкидом виходу з ладу обладнання локомотивів, в залежності від пробігу.

Прогнозування стану технічних об'єктів за допомогою системи діагностування є однією з конкретних форм прогнозування в техніці. Кожна форма прогнозу визначається своєю специфічною постановкою завдання і ґрунтується на певному математичному апараті, відображає суттєвість відповідної проблеми. Зазвичай прогнозуються деякі надійнісні характеристики: інтенсивність відмов, термін безвідмовної роботи і деякі інші. В основу математичного апарату їх розрахунку покладено модель надійності об'єкта, закони розподілу інтенсивності раптових відмов і закономірності, що викликають поступові відмови.

Вся робота системи діагностування ґрунтується на періодичному виконанні вимірювань сукупностей контрольованих параметрів об'єкта контролю. Вимірювання кожного i -ого контрольованого параметра дає його деяку контрольну величину y_i співвіднесену з певним моментом часу t_i і іншими словами, функцію $y_i(t_i)$. Далі, від циклу до циклу вимірювання дані значення заносяться в пам'ять (як правило, флеш-пам'ять, вбудована безпосередньо в систему діагностування або переносний картридж).

За накопиченим значенням $y_i(t_i)$ можна визначити тенденції в зміні відповідних параметрів, що буде основою для оцінки значень цього параметра в заданий майбутній момент часу t . Повинен існувати оператор W , що зв'яже між собою накопичену сукупність значень $\{y_i(t_i)\}$ і оцінку майбутнього значення цього контрольованого параметра.

$$\bar{y}_i(t) = W(\{y_i(t_i)\})$$

Форма оператора W залежить від ряду прийнятих припущень і обмежень, а також від обсягу і змісту додаткових відомостей, які можуть бути використані в процесі прогнозування. Якість оператора W має визначатися критерієм точності прогнозування. Цей критерій може бути заданий як функція від похибки $\varepsilon_i(t)$, яка є різницею між дійсними значеннями параметра y_i в момент часу t і його оцінкою, отриманої для того ж моменту часу:

$$\varepsilon_i(t) = y_i(t) - \bar{y}_i(t)$$

Будь-яка зміна в стані об'єкта, так чи інакше цікаве користувачеві системи діагностування і прогнозування, має бути відображено і в зміні значень аргументів.

Зміни визначальних параметрів об'єкта від часу можуть бути як оборотними, так і необоротними. До першої групи відносять цілий комплекс випадкових факторів, частина з яких носить зовнішній для об'єкта характер і обумовлений

змiнами зовнiшнiх умов i впливiв. За своїми властивостями зовнiшнi впливи є випадковою функцією $u_i(t)$ з досить швидкою змiною своїх значень протягом часу.

До другої групи відносять фактори, виникнення яких обумовлено протіканням сукупності необоротних фізичних процесів всередині контрольованого об'єкта. До таких процесів відносяться процеси зносу, старіння і разрегулювання. Ці процеси протікають повільно, в порівнянні з першою групою і відрізняються певним напрямком змін. Такі процеси $f_i(t)$ можна вважати детермінованими.

Метою прогнозування є отримання деякого висновку про можливість використання того чи іншого об'єкта в певний момент часу або інтервал часу в майбутньому. Це пророцтво зручно зв'язати з оцінкою деякого параметра Z . Причому, зміст цього параметра може бути по-різному в залежності від умов експлуатації та області застосування об'єкта. Оцінка параметра Z повинна проводитися на підставі всієї сукупності накопиченої в ході вимірювань інформації і наявних апріорних відомостей про об'єкт. Слід зазначити, що завжди апріорна інформація може містити в собі всі відомості щодо структури контрольованого об'єкта, всі дані про можливий хід внутрішніх процесів зносу, про можливі зміни зовнішніх умов.

Однією з особливостей завдання прогнозування на залізничному транспорті є широке розмаїття діагностованих об'єктів, що передбачає наявність безлічі діагностованих процесів, характер яких може визначатися з різних точок зору, а їх прогнозування може ґрунтуватися на різних принципах і здійснюватися різними методами.

Всі представлені випадки відрізняються один від одного підходом до прогнозування і своїм математичним апаратом.

Однак для всіх випадків єдиним залишається процедура оцінювання Z , яке полягає в додатку до всього накопиченого набору як отриманої в ході вимірювань, так і апріорної інформації деякого оператора H , різного для кожного варіанта оцінки, так, щоб

$$\bar{Z} = W(Y, I)$$

де Y - накопичена вимірювальна і розрахункова інформація, I - апріорна інформація про об'єкт.

Завдання оператора W визначає всю послідовність математичних операцій над результатами вимірювань і апріорною інформацією з метою отримання шуканої оцінки. Оператор W повинен відповідати двом основним вимогам:

- бути здатним дати оцінку шуканого параметра, найкращу з точки зору користувача;
- бути зручним з точки зору технічної реалізації.

Кінцевим підсумком всієї процедури прогнозування є отримання деякої оцінки технічного стану. Це може бути або оцінка майбутнього стану об'єкта або оцінка ймовірності виходу його з ладу. У будь-якому випадку отримання такої оцінки буде супроводжуватися деякою погрішністю ΔZ щодо того значення, яке він прийме в майбутній момент часу в дійсності.

Очевидно, що чим краще вивчений процес, чим більше отримано інформації високої якості і ефективніше обраний метод прогнозування, тим менше буде похибка.

На практиці можливі різні шляхи оцінювання помилки прогнозування. Найпоширенішими є методи оцінювання по апіорній інформації і за інформацією про поточний стан. Перший пов'язаний з набором статистичних даних за результатами лабораторних випробувань і експлуатації. Однак він може бути використаний лише при дотриманні двох умов: наявності інформації про зміну функції працездатності в часі для великого числа контрольованих об'єктів; проходження об'єктами контролю тривалих випробувань.

На загальний характер усієї процедури діагностування, а так само на окремі її компоненти, в тому числі і на прогнозування технічного стану, великий вплив надає загальна схема технічного обслуговування рухомого складу, як на лінії, так і в депо. До складу такої схеми обслуговування входять: визначення конкретних форм діагностування (бортове або стаціонарне), періодичність виконання контролю, рекомендовані терміни і форми планових ремонтних робіт, технічні засоби, що використовуються при цьому. Для уніфікації отримання діагностичної інформації важливо впровадження єдиної мережі АРМ оператора системи діагностування. Це дозволить отримувати більш повну і масштабну інформацію про технічний стан локомотивів і, як наслідок, підвищити рівень достовірності прогнозування технічного стану.

У той же час вибір тієї чи іншої форми технічного обслуговування може послужити причиною вибору того чи іншого варіанту практичної реалізації алгоритму прогнозування. Як приклад можна привести процес прогнозування стану, тієї частини обладнання локомотива, яка періодично піддається підстроюванню в ході експлуатації або обслуговування. Процедура підстроювання порушує систему накопичення інформації і втрачається сенс апіорних даних. Процес прогнозування в цьому випадку істотно ускладнюється. Однак корекція в ході кожної підстроювання може бути врахована і оцінена в період накопичення діагностичної інформації. Відповідні поправки можуть бути внесені і в апіорні дані. Загальне зниження ефективності в цьому випадку виявиться незначним, проте, математичний апарат і алгоритм прогнозування істотно ускладнюються.

Подальше накопичення досвіду експлуатації комплексної бортової системи діагностування дасть можливість більш точно сформулювати деякі вихідні дані для

складання математичних моделей об'єктів контролю на рухомому складі, а так само для моделювання процесів старіння, зносу і разрегулювання. Що дозволить, в подальшому, удосконалювати процедури діагностування та прогнозування технічного стану рухомого складу.

Прогнозування зміни ймовірності відмови обладнання в області великих напрацювань стає можливим в тому випадку, якщо відомий закон розподілу напрацювань на відмову. Маючи в розпорядженні повну функцію розподілу напрацювань на відмову, можна розрахувати функцію щільності розподілу і по ній отримати функцію параметра потоку відмов. Після цього, використовуючи функцію сумарного питомої наведеного числа ремонтів, може бути визначений оптимальний для даних умов експлуатації міжремонтний пробіг розглянутого обладнання. Певні таким способом, оптимальні міжремонтні пробіги всіх вузлів і деталей локомотива можуть бути використані для побудови планово-попереджувальної системи ремонту, при використанні якої в даних умовах експлуатації будуть досягнуті найменші витрати на ремонт і технічне обслуговування. Поряд з цим з'являється можливість виявити вузли і деталі, що лімітують міжремонтні пробіги і визначити для них перелік робіт, здатних підвищити їх ресурс.

Швидкодію застосовуваних в даний час ЕОМ дозволяє при використанні спеціалізованого програмного забезпечення безперервно, в режимі реального часу, проводити розрахунок показників надійності устаткування, що експлуатується на основі постійно накопичуваних статистичних даних. Оперативний прогноз технічного стану локомотивів дасть можливість гнучко змінювати періодичність і величину міжремонтних пробігів.

2.4 Висновки до розділу

1 Для ефективного використання бортового діагностування протягом всього життєвого циклу, тобто як під час ремонту, так і експлуатації необхідно запам'ятовувати і аналізувати матриці діагностичних подій і станів. Оцінка технічного стану устаткування повинна бути скоригована за результатами ремонтів і технічних оглядів, відповідна інформація повинна заноситися в систему діагностування. Система діагностування повинна бути навченою і адаптивною.

2 Для підвищення ефективності бортового діагностування та достовірності інформації з зашумлених даних про параметри електрообладнання запропоновано використовувати методи оптимальної фільтрації. З огляду на те, що параметри діагностується системи змінюються в часі, тобто є динамічними, пропонується використовувати фільтр Калмана-Бьюси.

3 В роботі створено математичну модель системи низьковольтного живлення електровозів постійного струму. Для оцінювання технічного стану та його прогнозування використаний рекурентний алгоритм Калмана-Бьюси.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 2ЕС6 І 2ЕЛ4

3.1 Система низьковольтного живлення (СНЖ) на електровозах постійного струму 2ЕС6 і 2ЕЛ4

СНЖ локомотива призначена для подачі живлення системі управління тяговим рухомим складом та іншим споживачам, як при піднятому пантографі, так і при відключенні від контактної мережі.

СНЖ складається з:

- 1 акумуляторної батареї,
- 2 джерела напруги, що забезпечує заряд акумуляторної батареї.

Навантаження, що включається в себе поряд з допоміжними споживачами, такими як: освітлення, обігрів, кондиціонування і т.д., мікропроцесорну систему управління локомотивом (МСУЛ), висуває підвищені вимоги до функціонування СНЖ.

На рисунку 3.1 представлена спрощена модель СНЖ. Вимірювані параметри моделі: струм (I) і напруга акумуляторної батареї (U), контрольовані - ємність акумуляторної батареї (C), внутрішній опір (R) і щільність електроліту (ρ).



Рисунок 3.1 - Структурна схема організації системи низьковольтного живлення на сучасних і модернізованих електровозах

Далі розглянемо реалізації СНЖ на сучасному локомотиві 2ЕЛ4 і модернізованому 2ЕС6.

Нижче наведено опис системи низьковольтного живлення на електровозі 2ЕЛ4. Джерелом стабілізованої напруги 50В для живлення кіл управління електровоза служать акумуляторні батареї (АБ) GB1, GB2 і статичний перетворювач А2-5 ПЧ ПСН-200. Його канал № 6 видає постійний струм напругою 50В (рисунок 3.2).

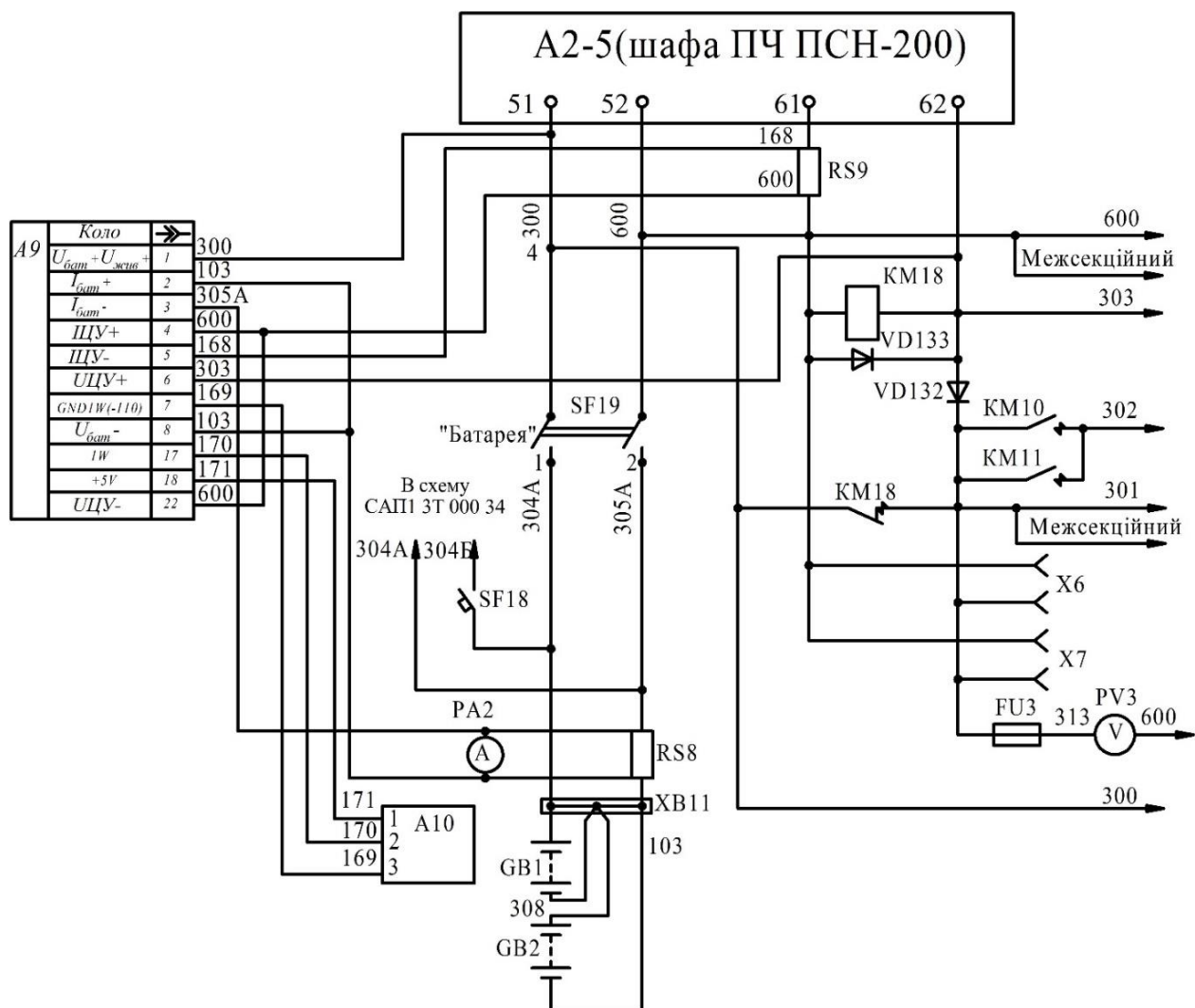


Рисунок 3.2 - Схема живлення кіл управління і заряду акумуляторної батареї електровоза 2ЕЛ4

Живлення кіл управління, освітлення і сигналізації здійснюється від вихідного каналу № 6 статичним перетворювачем напруги (ПЧ) постійним струмом напругою 50В. При непрацюючому ПЧН-200 живлення кіл управління і освітлення може здійснюватися від АБ GB1 і GB2, або від зовнішнього джерела живлення через зовнішні низьковольтні розетки.

Напруга від акумуляторної батареї (АБ) надходить по наступному колу: плюсовому висновку АБ GB2, провід 308, АБ GB1, провід 304А, автоматичний вимикач SF19, провід 300, і далі за двома паралельними гілками.

Перша гілка: провід 300, автоматичні вимикачі джерел живлення. Друга гілка: контакт контактора KM18, провід 301.

Від 301 проводу отримують живлення кола живлення освітлення кабіни, високовольтної камери, машинного відділення, шаф низьковольтної апаратури і приладів безпеки, так само низьковольтні розетки 50 В Х8 ... Х11. Для контролю напруги кіл управління воно через запобіжник FU3 по дроту 313 подається на вольтметр PV3 пульта управління в кабіні машиніста.

Далі обидві гілки об'єднуються проводом 600 і утворюється коло: контакт автоматичного вимикача SF19, провід 305а, шунт RS8 кола АБ, провід 103, мінусовий висновок АБ GB2.

Контактори KM10 і KM11 всіх секцій включаються, замикаючи свої силові контакти між проводами 301 і 302, а також 600 і 600А (600Б). Від дроту 302 живлення 50 В надходить в наступні кола (рисунк 3.3):

- управління електровозом і допоміжними машинами;
- допоміжного компресора і пульта управління гальмівного компресора;
- сигналів «Свісток» і «Тіфон»;
- сигналу «Вибіг»;
- ламп освітлення ходових частин і буферних ліхтарів;
- ламп прожектора, підсвічування кабіни і приладів пульта керування;
- перетворювача напруги постійного струму 50/24 В G5;
- обігріву спускних кранів і продувки головних резервуарів;
- обігріву бака умивальника і освітлення туалетного приміщення.

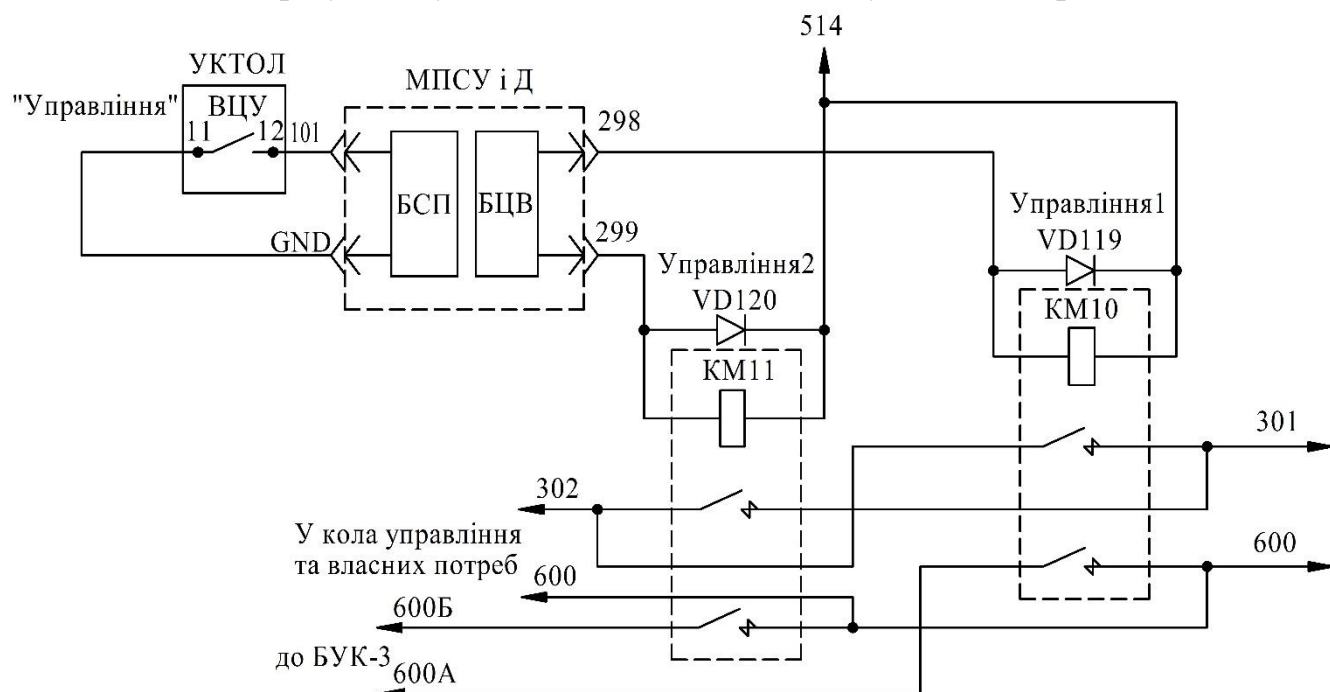


Рисунок 3.3 - Схема живлення кіл управління і власних потреб електровоза 2ЕЛ4

Для заряду АБ служить вихідний канал № 5 ПЧ ПСН-200, який видає постійний струм заряду напругою 90 ... 130 В. Нижче наведено опис системи низьковольтного живлення на електровозі 2ЕС6, який пройшов модернізацію з продовженням

терміну служби. Джерелом стабілізованої напруги для живлення кіл управління служать акумуляторні батареї GB1 і генератор управління GN з приладом живлення і управління (ПЖУ) A11 (рисунок 3.4).

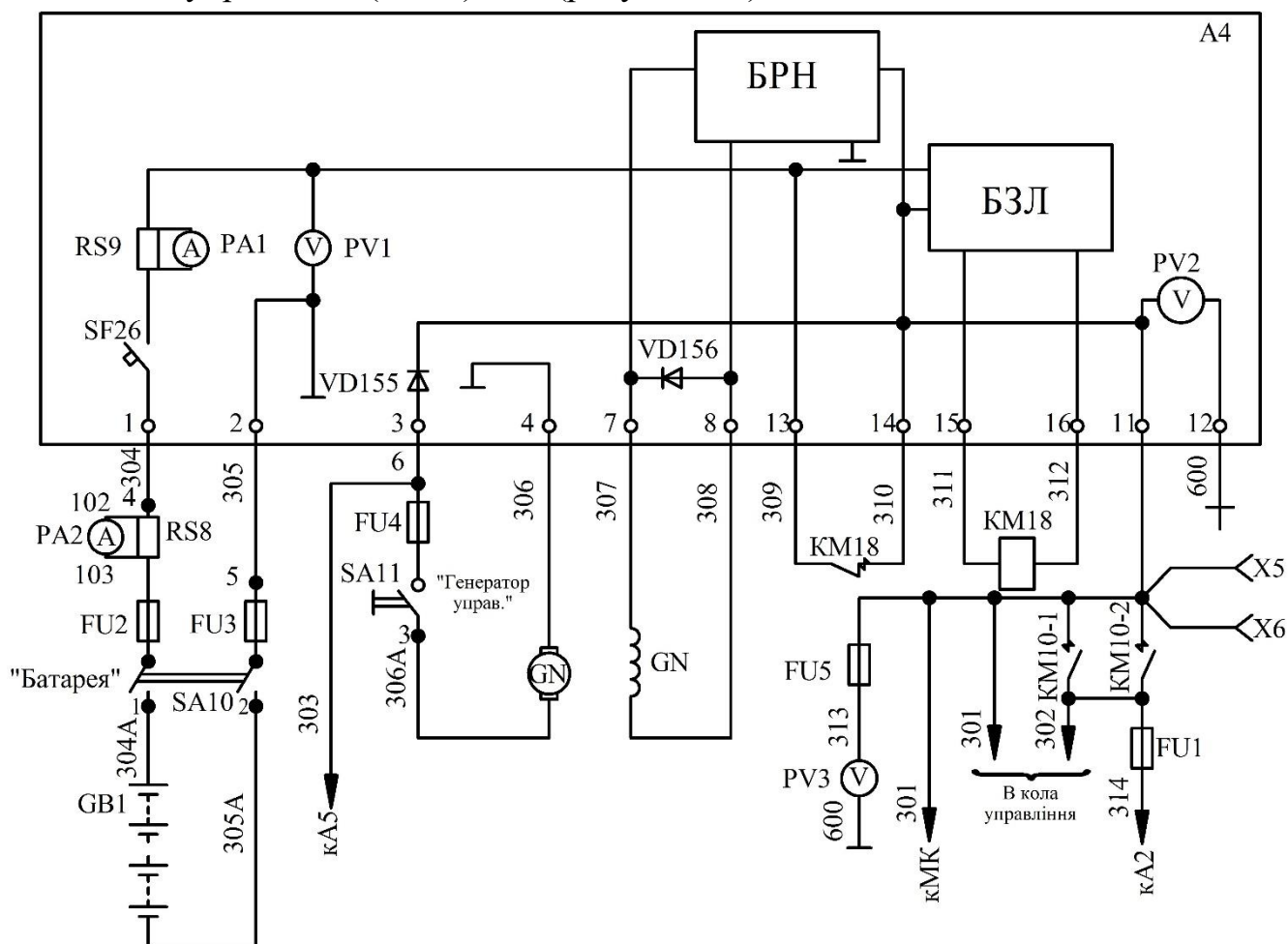


Рисунок 3.4 - Схема живлення кіл управління і заряду акумуляторної батареї електровоза 2ЕС6

Живлення кіл управління, освітлення і сигналізації здійснюється від генератора управління GN постійним струмом напругою 50 В через ПЖУ А4. При непрацюючому генераторі живлення кіл здійснюється від акумуляторної батареї GB1. ПЖУ видає постійну напругу 50 В в колі управління, освітлення і сигналізації; забезпечує заряд акумуляторної батареї (АБ) напругою до 68 В в режимі нормального заряду і напругою до 76 В в режимі посиленого заряду (зимовий період).

Живлення від АБ надходить по наступному колу: «плюс» АБ GB1, провід 304А, рубильник SA10, низьковольтна вставка FU2 50А, шунт амперметра PA2 RS8, провід 304, контактний затискач 1 ПЖУ, автоматичний вимикач SF26, шунт амперметра PA1 RS9, контактний затиск 13 ПЖУ, провід 309, контакт контактора KM18, провід 310, контактний затиск 14 ПЖУ, контактний затиск 11 ПЖУ, провід 301 (кола керування, освітлення і сигналізації). Від 301 проводу отримують живлення: джерела електроживлення G1 (прилади безпеки), G2 (перший канал

існуючого. У зв'язку з цим може бути недостатнім струм заряду, що видається генератором, отже акумуляторна батарея може бути недозарядженою. Для недопущення подібної ситуації необхідно своєчасно і з високим ступенем достовірності діагностувати технічний стан всіх елементів СНЖ. Працездатність акумуляторної батареї залежить від умов, в яких вони експлуатуються. Погане обслуговування батареї може зробити її несправною набагато раніше закінчення терміну служби [3].

Основні причини несправності батареї наступні:

1 Перезаряд акумулятора - викликає корозію решіток позитивних пластин і газоутворення, що руйнує активний матеріал пластин. Шлам (матеріал руйнування пластин), осідаючи на дно банки, може замкнути пластини. При перезаряді збільшується температура електроліту, відбувається зайве розкладання води, в результаті чого оголюються пластини і потрібно доливати воду.

2 Недозаряд (систематичний) - викликає поступове псування акумулятора. Можлива переполюсовка акумулятора в батареї і викривлення пластин в результаті накопичення на них сульфату свинцю.

3 Корозія затискачів - збільшує внутрішній опір, зменшуючи віддачу батареї.

4 Тріснуті банки - викликають витік електроліту, оголення пластин і втрату працездатності. Особливо шкідливо витікання електроліту для негативних пластин.

5 Короткі замикання всередині акумулятора - виникають в результаті пошкодження сепараторів дендритами кристала сульфату або замикання пластин шламом. Ознакою короткого замикання є зниження щільності електроліту, низька напруга на акумуляторі, втрата загальної ємності батареї.

6 Знижений рівень електроліту - призводить до наслідків, розглянутих раніше. Можливо викривлення пластин.

7 Замерзання електроліту - відбувається в результаті його низької, щільності, згубно діє на пластини акумулятора.

8 Сульфатація - утворення сульфату свинцю на поверхні і в порах позитивних пластин. При цьому погіршується робота акумулятора, знижується щільність електроліту, коробляться пластини. При саморозряд сульфат свинцю міцною плівкою покриває активну масу пластин, обумовлюючи зниження ємності акумуляторної батареї. Також негативний вплив надає коливання температури електроліту.

9 Зміна полярності акумулятора - викликається перезарядом акумулятора, що має недостатню місткість і сполучення з іншим, більшої місткості.

Акумуляторна батарея служить джерелом напруги 50В для котушок апаратів, освітлювальних і сигнальних ламп, радіостанції, локомотивної сигналізації та ін. При непрацюючому статичному перетворювачі власних потреб ПСН-200.

Акумуляторна батарея складається з 96 акумуляторів НК125 П ТУ 3482-014-05758523-00 з наступними технічними характеристиками:

- номінальна ємність - 125 (А·ч);
- номінальну напругу (розрядне) - 1,2 (В);
- номінальний розрядний струм - 32 (А);
- максимальний розрядний струм - 125 (А);
- струм заряду - від 20 до 50 (А);
- номінальний струм заряду - 32 (А);
- зарядна напруга на акумулятор - 1,5-1,6 (В);
- ємність в режимі постійної підзарядки - 98 (А·ч).

Вже згадана акумуляторна батарея має позначення 96НК125П де: 96 - позначення кількості акумуляторів в батареї; НК - позначення електрохімічної нікель-кадмієвої системи; 125-чисельне позначення номінальної ємності в ампер-годинах; П - позначення пластмасового виконання бака акумулятора.

Локомотивні нікель-кадмієві акумулятори мають такі переваги:

- Працездатність при температурі навколишнього середовища $-40 \dots +45$ °С в буферному режимі або режимі постійної підзарядки.
- Збереження працездатності після тривалого перебування при температурі до мінус 50 °С.
- Стійкість до впливу механічних навантажень, працездатність після глибоких розрядів, короточасних замикань, тривалого зберігання без електроліту.

Електрорушійна сила лужних акумуляторів дуже незначно залежить від питомої ваги електроліту. В середньому вона дорівнює 1,35(В). Внутрішній опір лужних акумуляторів приблизно в 4-5 разів більше, ніж свинцевих, при однакових розмірах. Величина опору залежить від розмірів акумуляторів і лежить в межах від тисячних до десятих часток Ом [3].

Незважаючи на сталість питомої ваги електроліту в лужних акумуляторах, внутрішній опір зарядженого акумулятора приблизно в два рази менше, ніж розрядженого. Пояснюється це тим, що в міру розряду акумулятора активні маси його пластин переходять в гідрати закисів металів, які погано проводять електричний струм. Величини початкового і кінцевого розрядних напруг акумуляторів залежать від величини розрядного струму, який визначає собою внутрішнє падіння напруги. При нормальному розрядному струмі початкова розрядна напруга становить 1,3(В), а кінцева - 1,1(В). Нормальним розрядним струмом або струмом восьмигодинного режиму називається струм, при якому акумулятор віддає гарантовану заводом ємність протягом 8 год. Зарядні напруги при заряді акумуляторів нормальним зарядним струмом складають: початкову 1,4(В), кінцеве 1,8(В).

Ємність лужних акумуляторів залежить від їх розмірів, якими визначається кількість активної маси в пластинах. Гарантованою заводом ємністю лужних акумуляторів називається ємність, яку акумулятор повинен віддати при розряді його нормальним розрядним струмом до напруги в 1,1(V) при температурі середовища 20-35 °С. Лужні майже не змінюють своєї ємності зі збільшенням розрядних струмів вище нормального. Однак ємність лужних акумуляторів знижується в міру забруднення електроліту вуглекислотою повітря, тому потрібно періодична зміна електроліту (через збільшення внутрішнього опору кінцева розрядна напруга настає раніше). Зі зменшенням температури ємність акумуляторів зменшується, і, починаючи з температур нижче - 5 °С, акумулятор на кожен градус втрачає приблизно 1% ємності [9]. Одна з характерних особливостей лужних акумуляторів полягає в тому, що у них саморозряд значно менше, ніж у свинцевих; це пояснюється хімічною нейтральністю електроліту. Повністю заряджений акумулятор піддається саморозряду на 15-20% тільки протягом першого місяця зберігання. При подальшому зберіганні саморозряд у акумулятора дуже незначний. Інша особливість лужних акумуляторів та, що їх можна довгий час (на протязі року) зберігати в розрядженому стані без особливої для них шкоди.

3.3 Показники технічного стану акумуляторних батарей

Як фактори контролю стану акумуляторних батарей можуть служити ознаки, що дозволяють визначити момент закінчення заряду або розряду або зарядженість акумулятора. Такими є напруга на затискачах акумулятора або всієї батареї, напруга на допоміжному електроді, що була отримана або повідомлена ємність акумулятора, щільність електроліту, складові повного опору акумулятора і ін.

Електрорушійна сила (ЕРС) акумулятора - це різниця рівноважних електродних потенціалів при відсутності струму в колі. Електродні потенціали залежать від природи пластин і стану активної маси пластин, температури, а для кислотних акумуляторів - і від щільності електроліту. Точне значення ЕРС визначається компенсаційним методом вимірювань. У стаціонарних умовах на практиці ЕРС можна виміряти за допомогою вольтметра з внутрішнім опором не менше 1000(Ом) на 1(V). Величина ЕРС лужних акумуляторів мало залежить від зарядженості.

Напругою акумулятора U є різниця потенціалів між позитивним і негативним електродами при наявності струму в зовнішньому колі акумулятора. Розрізняють напругу при заряді - зарядну і напругу при розряді - розрядну.

Відповідно до закону Ома для повного кола

$$I = \frac{E_0}{R_H + r_B}$$

де I - струм заряду або розряду; R_H - опір кола навантаження; r_B - внутрішній опір акумулятора.

Зарядна напруга U_3 більше ЕРС на величину падіння напруги на внутрішньому опорі:

$$U_3 = E_0 + I \cdot r_B$$

Розрядна напруга менше ЕРС на цю ж величину:

$$U_p = E_0 - I \cdot r_B$$

Середнє значення напруги при розряді або заряді на інтервалі часу від t_1 і t_2 рівне:

$$U_{cp} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u dt$$

Напруга акумуляторної батареї, складеної з k послідовно з'єднувальних акумуляторів, визначається алгебраїчною сумою напруг акумуляторів:

$$U_6 = \sum_{n=1}^k U_n$$

Проміжок часу після початку заряду або розряду для вимірювання початкових розрядних і зарядних напруг становить до 3 хвилин, що досить для встановлення перехідних електрохімічних процесів в акумуляторах [3].

Важливою експлуатаційною характеристикою є кінцева або мінімально допустима напруга розряду U_p , нижче значення якого акумуляторна батарея буде розрядженою, а також максимально допустима або кінцева напруга заряду U_3 . Заряд акумуляторної батареї вище U_3 не супроводжується корисними електрохімічними реакціями.

Ємність акумулятора - кількість електроенергії, яке віддає акумулятор при розряді до досягнення кінцевої напруги. Вона виражається в ампер-годинах (А·ч) і являє собою міру електрохімічних реакцій, що відбуваються в акумуляторі відповідно до закону Фарадея. Розрізняють зарядну і розрядну ємності. Зарядна ємність C_3 є кількість електроенергії, яка повідомлена акумулятору при заряді до

появи ознак закінчення заряду. Розрядна ємність C_p визначається як кількість електроенергії, яку віддає акумулятор при заданому режимі розряду до появи ознак закінчення розряду, наприклад кінцевої напруги.

Високий внутрішній опір лужних акумуляторів, що застосовуються на рухомому складі, робить їх більш стійкими до коротких замикань. Напруга при заряді акумуляторів поступово підвищується в залежності від режиму і струму заряду. У початковий період напруга заряду зростає порівняно швидко. Потім йде тривалий період, протягом якого напруга плавно підвищується. І тільки після досягнення акумулятором 80% ємності воно знову починає швидко підніматися. В кінці заряду напруга досягає максимального значення для даних умов заряду і перестає підвищуватися, незважаючи на триваючий заряд.

Характер підвищення напруги акумулятора в процесі заряду однотипний для будь-яких значень струму. Напруга, при якому закінчується заряд, також залежить від зарядного струму. При великих струмах ця напруга вище, а при менших нижче [3].

Температура електроліту суттєво впливає на зміну напруги в процесі заряду. Зі зниженням температури зростає кінцева напруга заряду. Щоб забезпечити необхідний зарядний струм при низьких температурах, необхідно прикладати більш високу напругу. Значні труднощі виникають при спробах зарядити акумулятор при негативних температурах, так як в цьому випадку сульфат свинцю погано розчиняється, при цьому зростають поляризаційні явища, що обмежують здатність акумулятора прийняти заряд, і напруга на акумуляторі зростає до значення, близького до кінцевої зарядної напруги, при якому негайно починається процес електролізу води.

Температура акумулятора в процесі розряду повільно зростає. Цей нагрів відбувається значно повільніше, ніж при заряді акумулятора тим же струмом, так як поряд з виділенням тепла на омичному опорі акумулятора пропорційно квадрату струму відбувається електрохімічна реакція з поглинанням тепла пропорційно струму (ендотермічна реакція при розряді). Підвищення температури батареї ємністю 225 А·год) при 5-годинному режимі розряду може скласти 4°C при початковій температурі 20°C. Перед самим закінченням розряду напруга починає змінюватися помітно швидше, що відзначається на кривій крутим перегином, який більш помітний при розряді великими струмами. Досягнення цієї межі свідчить про наближення повного розряду акумулятора.

Максимальна напруга, до якої можна розряджати акумулятор, залежить від значення розрядного струму. Стандарт для акумуляторів типів С і СК передбачає для режимів розряду не менше 3 годин при температурі +25°C кінцева напруга 1,8 В, а для більш коротких, включаючи 15-хвилинний, 1,75 В. Слід зазначити, що глибокі розряди супроводжуються суттєвою зміною обсягу активної маси і можуть

призвести до часткового випадання активної маси і викривлення пластин. Крім того, розряд нижче гранично допустимого значення (1,8 або 1,75 В) напруги має мале практичне значення, так як при цьому напруга починає різко падати, і знімається додаткова невелика ємність. При розряді струмами меншими, ніж струм 10-годинного розряду, напруга в кінці розряду буде вище 1,8 В. Але, незважаючи на це, подальший розряд неприпустимий, оскільки зняття ємності, що перевищує номінальну, призводить до надмірної сульфатизації пластин і може викликати випадання активної маси.

Крім значення кінцевої напруги велику роль відіграє середня напруга в процесі розряду. Середня напруга суттєво залежить від режиму розряду, температури, типу і конструкції елементів.

На практиці розряд стабілізованим струмом зустрічається рідко, так як у міру розряду напруга зменшується і для підтримки постійного струму опір навантаження необхідно зменшити, що в експлуатації важко реалізувати. Однак якщо подібний режим необхідно здійснити, то середній за час розряду опір аналогічний середній напрузі.

Вплив на напругу акумулятора має щільність електроліту. Зазвичай щільність вибирається з умови віддачі акумулятором максимальної місткості. Термін служби акумуляторів також відбивається на напрузі розряду. Це пов'язано зі зміною ємності акумуляторів у міру експлуатації. Тому при контролі стану акумуляторів необхідно враховувати термін його служби.

Напруга акумулятора ділиться між його внутрішнім опором і навантаженням. Причому, чим більше струм в колі - тим більше падіння напруги на внутрішньому опорі АБ, а також чим більше внутрішній опір АБ, - тим нижче напруга на навантаженні. Будь-яке обладнання, яке розраховане на живлення від акумулятора, має якусь нижню граничну робочу напругу, тобто напругу акумулятора, нижче якої обладнання припиняє працювати. Відповідно, чим більше внутрішній опір акумулятора, тим менший струм він здатний забезпечити. Крім того, якщо є два акумулятора ідентичними характеристиками, але з різним внутрішнім опором, то при роботі в однакових умовах довше пропрацює той, у якого воно нижче.

Таким чином, акумулятор з низьким внутрішнім опором має кращу здатність навантаження, тобто забезпечує більш високим струмом навантаження і більший час роботи обладнання на одному заряді. Акумулятор з високим внутрішнім опором буде задовільно працювати на навантаження, що споживає невеликий струм, але не підходить для роботи на навантаження з великими або імпульсними струмами споживання.

Високий внутрішній опір NiCd акумулятора може бути викликаний ефектом пам'яті. За допомогою відновлювальних програм внутрішній опір NiCd батареї

може бути зменшено в 2 - 3 рази. Часто NiCd батареї відновлюються повністю або навіть перевершують за своїми характеристиками аналогічні нові АБ.

Існує кілька способів виміряти внутрішній опір батареї. Один з найпоширеніших - метод постійного навантаження, що полягає у вимірюванні різниці між падінням напруги на акумуляторі і його номінальною напругою в процесі розряду. Падіння напруги, поділене на струм розряду, дає внутрішній опір.

Метод змінного струму, також відомий як тест провідності, вимірює електрохімічні характеристики батареї при впливі на неї змінного струму. Дефекти батареї, що викликають втрату ємності, впливають на провідність акумулятора.

Імпульсний метод дозволяє виміряти внутрішній опір батареї за 5 секунд і не вимагає розряду батареї. Послідовність імпульсів заряду і розряду дозволяє провести вимірювання, ґрунтуючись на зміні напруги. Імпульсний метод не надає достовірної інформації про ємності акумулятора і його дефектах. Показання вимірювача залежать від типу хімії, ємності осередків, типу осередків, кількості осередків ввімкнених послідовно, розводці і типу контактів. Для проведення тесту потрібне надійне підключення і хороший контакт, інакше свідчення тесту будуть завищені. Для отримання вірного результату батарея повинна бути заряджена як мінімум на 50%. Чим вище напруга батареї, тим менше потреба в силі струму. Теоретично, у батареї напругою 7,2 В, показники внутрішнього опору можуть бути в два рази більше, ніж у батареї з напругою в 3,6 В, тому що при однаковій необхідній потужності, сила струму буде в два рази менше. При цьому час роботи в обох батареях буде однаковим.

3.4 Побудова фільтра Калмана-Бьюси для системи низьковольтного живлення електровоза постійного струму

Для системи низьковольтного живлення електровоза знайдемо залежність між вимірюваними та параметрами що діагностуються. На рисунку 3.6 представлена спрощена модель системи обробки даних вимірювань.



Рисунок 3.6 - Модель співвідношення виміряних і діагностуючих величин для системи низьковольтного живлення електровоза

Тут вимірювані параметри: струм (I) і напруга (U), контрольовані - ємність (C), внутрішній опір (R) і щільність електроліту (p).

Таким чином:

$$(I_3, I_p, U) = f(C_3, C_p, R, p, Q).$$

Запишемо матрицю відносини вимірних і діагностованих параметрів:

$$\begin{vmatrix} I_3 \\ I_p \\ U \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C_3 \\ C_p \\ R \\ p \\ Q \end{vmatrix}$$

Далі:

$$I_3 = a_{11}C_3 + a_{12}C_p + a_{13}R + a_{14}p + a_{15}Q$$

$$I_p = a_{21}C_3 + a_{22}C_p + a_{23}R + a_{24}p + a_{25}Q$$

$$U = a_{31}C_3 + a_{32}C_p + a_{33}R + a_{34}p + a_{35}Q$$

Опис контрольованих параметрів бортової системи живлення наведено нижче.

Зарядна ємність

Для накопичених даних за час заряду t_3 :

$$C_3 = \int_t^{t_3} i_3 dt;$$

Розрядна ємність

Для накопичених даних за час розряду t_p :

$$C_p = \int_t^{t_p} i_p dt;$$

Для ілюстрації розрахунку зарядної і розрядної ємностей служить графік на рисунку 3.6. Ці ємності представляють собою площу під кривою зміни струму в часі (рисунок 3.7).

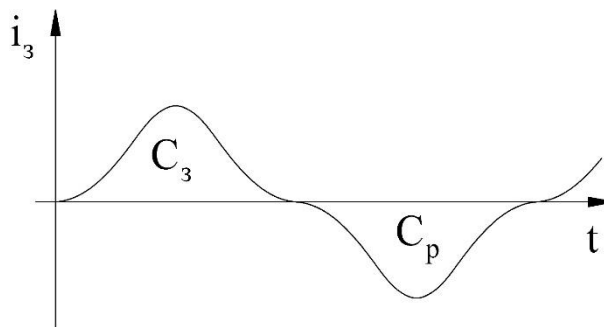


Рисунок 3.7 - Ілюстрація співвідношень розрядної і зарядної ємностей
Внутрішній опір

$$R = \frac{U_{t2} - U_{t1}}{I_{t2} - I_{t1}}$$

Рівень електроліту

$$Q_{n+1} = Q_n - k_3 \cdot I_3$$

Тут U_{t1} і I_{t1} - значення напруги і струму, відповідно, на початку вимірювань, U_{t2} і I_{t2} - в кінці вимірювань.

За емпіричними даними рівень електроліту знижується на 0,23 грама на 1 А*год перезаряду. Перезаряд для кожного типу батареї береться з довідкових даних. При розряді щільність електроліту знижується.

Контрольовані параметри бортової системи живлення визначені у вигляді

$$\bar{X} = [C_3, C_p, R, p, Q]^T,$$

а вимірювані параметри у вигляді

$$\bar{Y} = [I_3, I_p, U]^T.$$

У загальному випадку ці рівняння є нелінійними. Запис рівнянь спостереження проведений в відхиленнях щодо розрахункової точки і вектори $\bar{X}$ і $\bar{Y}$ приймають вид:

$$\bar{X} = [\Delta C_3, \Delta C_p, \Delta R, \Delta p, \Delta Q]^T,$$

$$\bar{Y} = [\Delta I_3, \Delta I_p, \Delta U]^T.$$

Для рівня електроліту Q отримаємо:

$$Q_{t2} = Q_{t1} - K_3 \cdot I_3$$

$$K_3 \cdot I_3 = Q_{t1} - Q_{t2}$$

$$I_3 = (Q_{t1} - Q_{t2}) \cdot K_3$$

$$\Delta I_3 = \frac{\partial I_3}{\partial Q_{t2}} \Delta Q_{t2}$$

$$\Delta Q_{t2} = Q^n - Q^p$$

$$\Delta I_3 = K_3 \cdot \Delta Q_{t2}$$

Далі, для щільності електроліту ρ :

$$\rho = -K_p \cdot I_p$$

$$I_p = -\frac{\rho}{K_p}$$

$$\Delta I_p = \frac{\partial I_p}{\partial \rho} \Delta \rho$$

$$\Delta I_p = -\frac{1}{\partial \rho} \Delta \rho$$

Для внутрішнього опору r_B :

$$r_B = \frac{U_{t2} - U_{t1}}{I_{t2} - I_{t1}}$$

$$r_B(I_{t2} - I_{t1}) = U_{t2} - U_{t1}$$

$$U_{t2} = r_B(I_{t2} - I_{t1}) + U_{t1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial r_B} = I_{t2} - I_{t1}$$

$$\Delta U = r_B(I_{t2} - I_{t1})$$

$$\Delta I_{t2} = -(U_{t2} - U_{t1}) \frac{1}{r_B} + I_{t1}$$

Продиференціювавши Δr_B , отримаємо:

$$\Delta I_{t2} = -(U_{t2} - U_{t1}) \frac{1}{r_B^2} \Delta r_B$$

Для зарядної C_3 та розрядної C_p ємностей:

$$C_3 = \int_{t_1}^{t_2} I_3 dt$$

Проінтегрувавши, отримаємо:

$$C_3 = I_3(t_2 - t_1)$$

$$\Delta I_3 = \frac{1}{\Delta t} \Delta C_3$$

Аналогічно

$$C_p = \int_{t_1}^{t_2} I_p dt$$

$$C_p = I_p(t_2 - t_1)$$

$$\Delta I_p = \frac{1}{\Delta t} \Delta C_p$$

Матриця H для СНЖ електровоза складена в результаті аналізу впливу вимірних параметрів на оцінювані:

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\Delta t_3} & 1 & 1 & \frac{U_{t_2} - U_{t_1}}{r_B^2} k_3 \\ 0 & \Delta t_p k_p & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{t_2} - I_{t_1} \end{vmatrix}$$

де Δt_3 - час заряду акумуляторної батареї (АБ), Δt_p - час розряду АБ, k_3 - коефіцієнт випаровування при заряді АБ, k_p - коефіцієнт зміни щільності електроліту при розряді, U_{t_1} - напруга АБ в момент часу t_1 , U_{t_2} - напруга АБ в момент часу t_2 , I_{t_1} - струм АБ в момент часу t_1 , I_{t_2} - струм АБ в момент часу t_2 .

3.5 Висновки до розділу

1 Виходячи з важких наслідків порушення нормального режиму функціонування СНЖ, необхідно періодично контролювати стан, а також процес зарядки або розрядки акумуляторної батареї.

2 Найбільш ймовірними причинами несправності СНЖ є перегорання запобіжників, обрив кола генератора, коротке замикання всередині батареї і зниження її ємності.

3 Запропоновано методику оцінки технічного стану електрообладнання на підставі непрямих оцінок діагностичних параметрів шляхом використання рекурентного підходу фільтра Калмана-Бьюси.

4 Розроблено діагностичну модель і методику оцінки технічного стану системи низьковольтного живлення електровоза.

4 АЛГОРИТМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

4.1 Визначення технічного стану акумуляторної батареї за величиною внутрішнього опору

Для організації оптимального режиму експлуатації акумуляторних батарей на електровозах 2ЕЛ4 і 2ЕС6 необхідно задати правильні режими заряду і розряду, які будуть відповідати умовам експлуатації даного типу електровозів, що працює при певних температурах і навантаженнях даної ділянки дороги.

Оптимальний режим експлуатації передбачає, що умови заряду, розряду і збереження батареї в зарядженому стані не повинні мати граничних значень, які негативно впливають на термін їх служби і її параметри.

Режим експлуатації батарей на рухомому складі задається схемою управління і режимом роботи зарядного генератора. В умовах електрорухомого складу можливо обмежена кількість варіантів заряду і розряду батарей. Циклічний режим експлуатації передбачає повний заряд від основного джерела, і потім розряд. Такий режим здійснити на рухомому складі досить важко. Необхідно відзначити, що в цьому випадку виникає перехідний процес для апаратури управління, яка отримує живлення від різних джерел. Це призводить до збоїв в системі керування рухомих складом.

На рухомому складі використовується буферний режим роботи акумуляторних батарей. У цьому режимі при експлуатації струм заряду батареї залежить не тільки від температури електроліту, ступеня розрядженості, швидкості обертання генератора. При такому режимі роботи потрібен постійний контроль великої кількості факторів. Серед них фактична ємність батареї, струм заряду, температура електроліту, напруга батареї, рівень і щільність електроліту. Такий режим, що відноситься до буферного, по суті є мікроциклічним і має ряд особливостей, що пред'являють підвищену увагу до системи контролю за станом батареї.

Працюючи в умовах нерівномірного навантаження, акумулятори поперемінно, то заряджаються, то розряджаються. При невеликих коливаннях рівня навантаження батарея не встигає глибоко розрядитися і заповнює віддану ємність, як тільки навантаження зменшиться. Якщо ж батарея не встигає зарядитися повністю в проміжку часу між розрядами, то може початися сульфатизація пластин. Якщо в проміжку між розрядами батарея буде заряджатися, то в цьому випадку буде потрібно часто робити доливи дистильованої води і електроліту.

Оптимальний режим експлуатації лужних акумуляторних батарей буде полягати в тому, щоб батарея завжди повинна бути максимально зарядженою і не мати режимів перезарядження. Для вирішення цього питання необхідно визначити

напругу, при якій в даних умовах буде експлуатуватися акумуляторна батарея. Воно повинно бути компромісним між високою напругою, що забезпечує швидкий заряд і низькою напругою, що забезпечує мінімальні витрати електроліту.

Вибір оптимальної напруги для конкретних умов експлуатації, мають невеликі відмінності протягом певного часу, можна здійснити, провівши випробування і аналіз роботи акумуляторної батареї не менше ніж протягом доби. У процесі аналізу необхідно визначити чи є випадки перезаряду батареї або поступового зниження ступеня її зарядженості. Провести такий аналіз дуже важко з тієї причини, що він вимагає великої кількості розрахунків, так як всі контрольовані параметри дуже взаємопов'язані і мають складні залежності.

Одним з методів дозволяючих вибрати оптимальну напругу для експлуатації акумуляторних батарей на електрорухомому складі представляється наступним. Перед видачею рухомого складу на лінію необхідно здійснити контроль ємності акумуляторної батареї, потім перевіряти ємність батареї перед постановкою електровоза на технічний огляд. Ємність батареї не повинна падати. При цьому необхідно контролювати рівень електроліту. При оптимальному режимі батарея завжди буде знаходитися в зарядженому стані і доливання води і електроліту не буде потрібно протягом десятків місяців.

Одним з варіантів вибору оптимального режиму експлуатації акумуляторів полягає в тому, щоб визначити баланс енергоємності батарей, тобто відношення величини ємності отриманої батареєю при заряді до величини ємності отриманої при розряді. Для цього протягом контрольного часу визначається ємність заряду.

Коефіцієнт відношення величини ємності отриманої батареєю при заряді до величини ємності отриманої при розряді залежить від величини струму заряду і розряду, температури електроліту і стан акумуляторів.

Якщо коефіцієнт буде менше 1,05, то з великою вірогідністю можна стверджувати, що ми маємо випадок недозаряд батареї в процесі експлуатації. Величина коефіцієнта більше 1,35 вказуватиме на можливий процес перезарядження. В цьому випадку необхідно перевіряти рівень електроліту. Підвищена витрата підтвердить явище перезарядження. Для виключення зазначених небажаних процесів необхідно в першому випадку збільшити напругу на генераторі, у другому випадку - зменшити.

Інший варіант вибору оптимального режиму експлуатації акумуляторних батарей буде полягати в наступному. Батареї перед установкою на електровоз (нові або після ремонту) проходять технічне обслуговування, тобто заряд і розряд. При заряді необхідно заміряти напругу, струм, температуру і час. За отриманими даними необхідно визначити ємність батареї. При розряді необхідно фіксувати ті ж параметри. В процесі розряду необхідно визначити величини внутрішнього опору,

для чого на 1-2 хвилини змінити величину струму навантаження. При цьому заміряти зміну напруги і струму, обчислити опір.

Отримані дані в подальшому необхідно використовувати для контролю стану батареї в процесі експлуатації. При заході електровоза на технічне обслуговування необхідно перед відключенням високої напруги і виключення джерела почати фіксувати напругу і струм батареї. Після відключення генератора, акумулятор перевести в режим розряду шляхом включення освітлення візків, кабіни, інших апаратів при необхідності прожектора. Струм розряду повинен бути близький до струму 2-х - 5-и годинного режиму розряду. При всіх наступних випробувань необхідно встановлювати однакові значення струмів розряду, шляхом включення одних і тих же апаратів навантаження. Розряд батареї здійснювати до напруги 1,18 В на елемент. В процесі розряду здійснити зміну величини навантаження на 1-2 хвилини, для визначення величини внутрішнього опору, як було запропоновано вище. Потім зробити розрахунок ємності батареї і порівняти з величиною ємності батареї отриманої раніше при розряді до тієї ж величини напруги.

Якщо батарея має тенденцію до зниження ємності необхідно збільшити напругу на генераторі. Якщо буде виявлено значне зниження рівня електроліту при однакових значеннях контрольних величин ємності батареї, необхідно зменшити величину напруги на генераторі. При правильному виборі рівня напруги батарея завжди буде знаходитися в зарядженому стані і не буде необхідності у коригуванні рівня електроліту.

Проведення таких заходів необхідно здійснювати при змінах середньої денної температури понад 10° С і проводити коригування рівня напруги джерела.

4.2 Реалізація бортового діагностування системи низьковольтного живлення на електровозі 2ЕЛ4

На електровозі 2ЕЛ4, обладнаним мікропроцесорною системою управління, реалізована і використовується система бортового діагностування, що використовує алгоритми, засновані на наступних принципах:

- застосування методів оптимальної фільтрації, описаних в третьому розділі;
- розрахунку зарядної і розрядної ємностей в режимі реального часу;
- перевірки відповідності режимів заряду і розряду заданим режимом.

Підпрограми, що реалізують алгоритми діагностування написані на мові C++ в середовищі Visual Studio C++ 2008. Вибір мови та середовища програмування обумовлений високим рівнем реалізації функцій об'єктного програмування, великого обсягу підключаючих бібліотек, продуктивністю компілятора.

Для роботи системи діагностування використовуються тільки датчики системи управління, встановлення додаткового обладнання не потрібно. Виміряні датчиками системи управління величини параметрів (зарядний струм батареї, розрядний струм генератора, напруга батареї) надходять в головний обчислювач, де обробляються за відповідними алгоритмами. Параметри, для вимірювання яких в системі управління не передбачено датчиків (внутрішній опір, ємність батареї, щільність і рівень електроліту) розраховуються в обчислювачі на основі методів оптимальної фільтрації та непрямой оцінки параметрів.

Вплив зовнішніх і внутрішніх факторів на технічний стан СНЖ локомотива можна представити у вигляді графа (рисунок 4.1). Запропонована граф-модель будується, починаючи з вершин, позначених символом f і графічно представлених у вигляді гуртків. Фізично це означає наступне: технічний стан АБ може бути визначено по знаходженню наступних параметрів в рамках допустимих значень:

- напруга АБ (f_1),
- струм заряду і розряду (f_2),
- ємність АБ (f_3),
- внутрішній опір АБ (f_4),
- рівень електроліту (f_5).

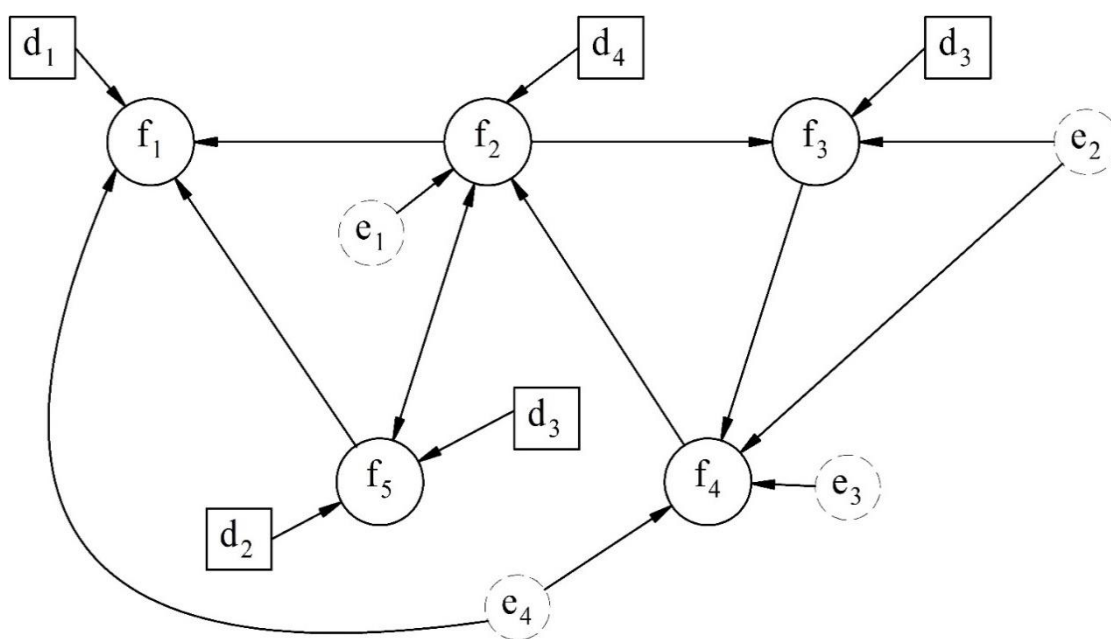


Рисунок 4.1 - Граф впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на технічний стан акумуляторної батареї

Дугами на граф-моделі відображені зв'язки між параметрами різного характеру. Будь-які дві вершини з'єднуються дугою в тому і тільки в тому випадку, якщо вершина, яка надається початком дуги, впливає на вершину, подану кінцем дуги.

Далі на граф додані можливі дефекти СНЖ, позначені символом d і графічно представлені квадратом. Дефекти СНЖ можуть бути наступними:

- механічний знос генератора або несправності ПСН (d_1),
- негерметичність батареї (d_2),
- низький рівень електроліту (d_3),
- неправильна уставка генератора або ПСН (d_4).

Параметри, що визначають технічний стан СНЖ позначені символом e , вони можуть бути наступними:

- герметичність батареї (e_1),
- хімічний склад електроліту (e_2),
- температура електроліту (e_3),
- технічний стан внутрішніх провідників (e_4),
- технічний стан генератора (e_5).

Грунтуючись на запропонованій граф-моделі, можна отримати алгоритми, опис яких наведено нижче. Як видно з графа на рисунку 4.1 на вихід напруги акумуляторної батареї за рамки допустимих значень може вплинути механічний знос генератора (несправності ПСН), технічний стан внутрішніх провідників, а також такі відхилення в значеннях зарядного струму і рівня електроліту. На струм акумуляторної батареї впливають уставка генератора, герметичність корпусу батареї, вихід за рамки допустимих значень рівня електроліту і його внутрішнього опору. На ємність батареї впливає хімічний склад електроліту і величина зарядного струму. До зменшення ємності призводить також витік або випарювання електроліту. Внутрішній опір батареї схильний до зміни через вплив температури і хімічного складу електроліту.

Блок-схема загального алгоритму діагностування СНЖ, представлена на рисунку 4.2. Перед ініціалізацією програми виставляються в нуль поточна величина зміни ємності АБ (C_{ab} , А/ч). Для виключення обробки недостовірних вхідних даних від МСУД перевіряється відсутність нуля на аналогових входах системи діагностування. Якщо сталася одноразова помилка вводу аналогових сигналів, то пропускається виконання алгоритмів діагностування, в разі відсутності сигналу більше 2 секунд видається діагностичне повідомлення машиністу «Немає вимірів напруги АБ. Перевір справність МПСУіД».

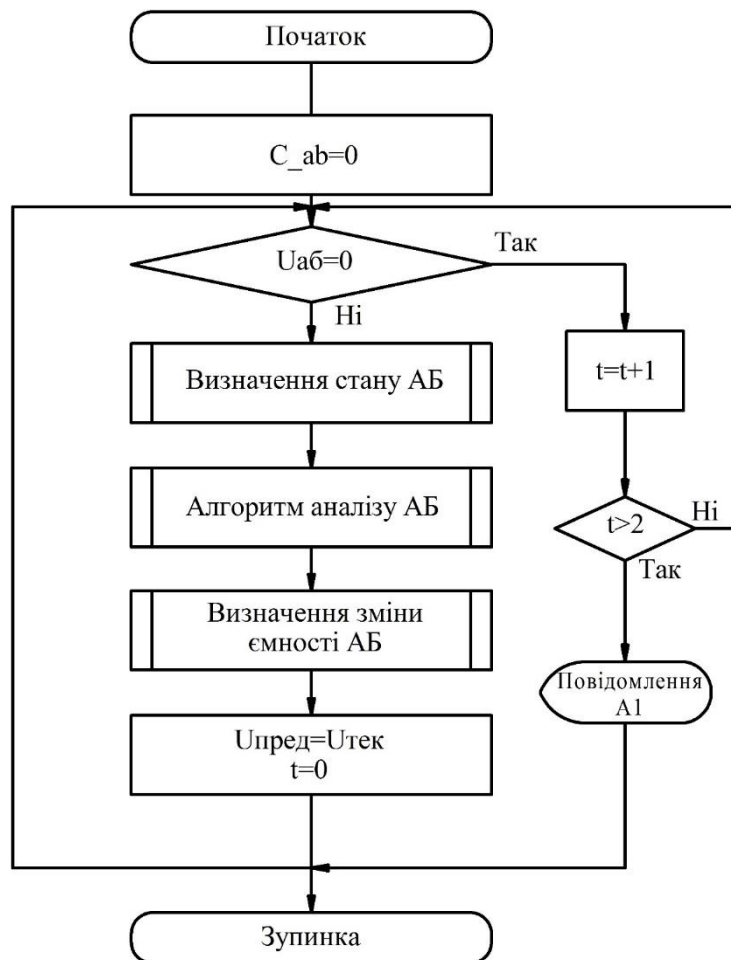


Рисунок 4.2 - Загальний алгоритм діагностування АБ

Далі виконуються наступні підпрограми, які детально будуть розглянуті нижче: визначення зміни ємності АБ, визначення стану АБ і алгоритми відповідні поточному стану АБ.

Алгоритм перевірки технічного стану включає в себе три основні підпрограми: визначення режиму роботи АБ, аналізу АБ, зміни її ємності.

Для визначення стану АБ використовується алгоритм, блок-схема якого приведена на рисунку 4.3.

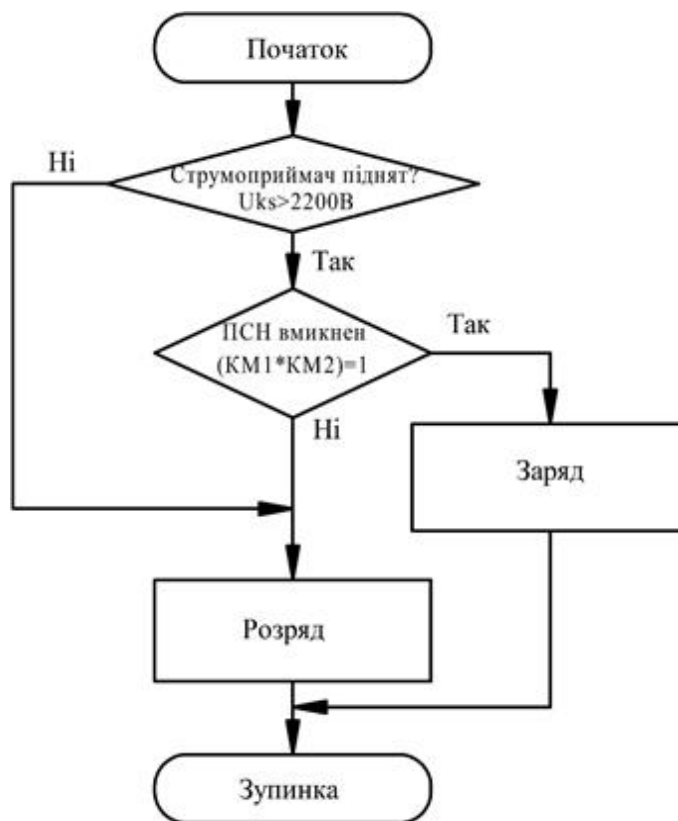


Рисунок 4.3 - Алгоритм визначення стану АБ

Для аналізу АБ використовується алгоритм, блок-схема якого приведена на рисунку 4.4.

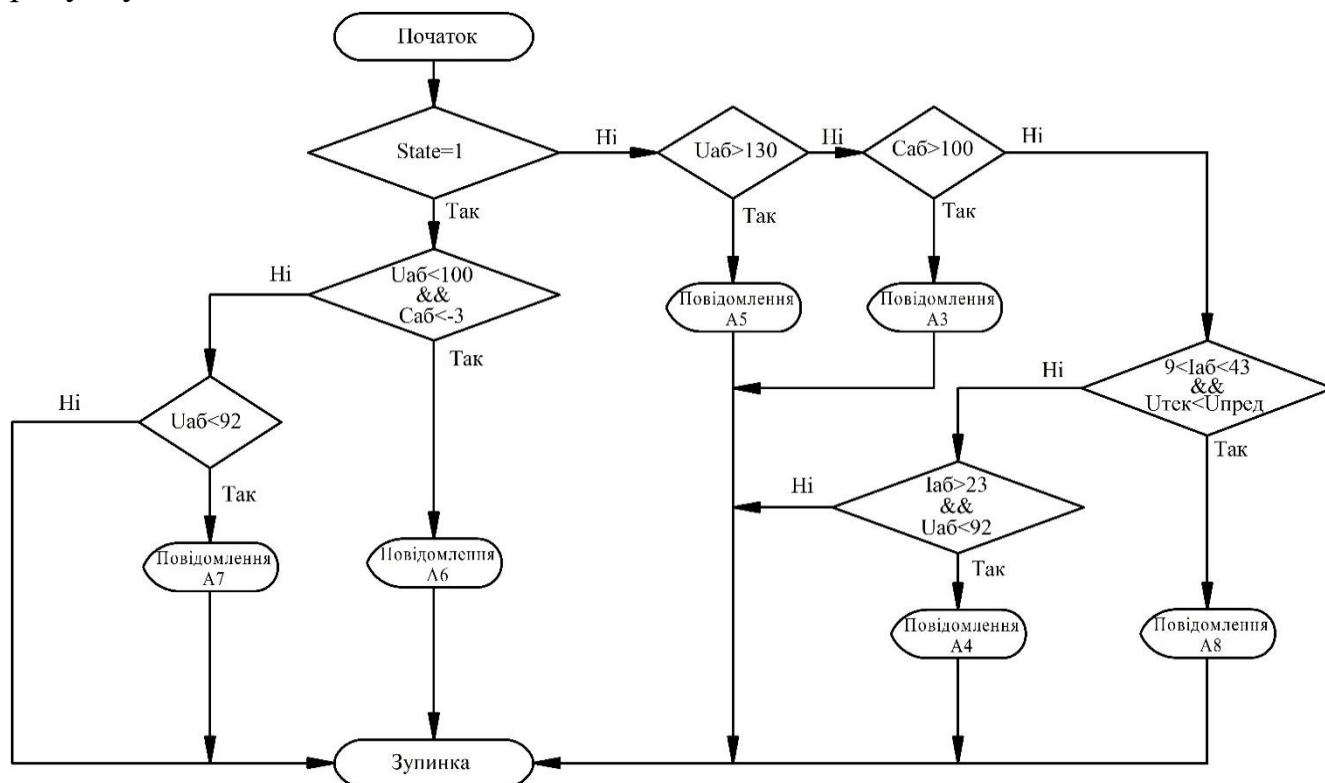


Рисунок 4.4 - Алгоритм аналізу АБ

За станом АБ, визначеному в алгоритмі на рисунку 4.3 виконуються наступні дії. При розряді перевіряється напруга АБ і його розрахункова ємність (алгоритм на рисунку 4.5). Якщо напруга менше 100 В, а відносна ємність нижче -3 А*год , то видається діагностичне повідомлення «Ємність батареї менше початкової». Далі, якщо ця умова не виконується, а напруга АБ нижче 92 В, то видається діагностичне повідомлення «Батарея розряджена. Підніми струмоприймач ». При заряді ($\text{State} = 2$) перевіряється напруга АБ, якщо вона більше 130 В видається діагностичне повідомлення «Підвищена напруга АБ». Далі, якщо напруга менше 130 В, перевіряється відносна ємність батареї. При значенні ємності більш 100 А*год видається діагностичне повідомлення «Можливо к.з. в колі АБ. Послідовно вимикай споживачів ». Якщо напруга і ємність не перевищують зазначених значень, а струм батареї $I_{аб} \in (9; 43) (\text{А})$ при цьому, напруга не росте, то видається діагностичне повідомлення «Немає заряду АБ. Перевір коло заряду ». У разі ж, якщо зарядний струм перевищує 23 А, а напруга на батареї нижче 92 В, видається діагностичне повідомлення «Можливо переполюсовка або к.з. всередині батареї. Необхідно замінити батарею».

Вимірювання ємності що витрачається АБ і одержуваної нею від генератора починає реєструватися з першого моменту включення МСУД з інтервалом часу між вимірами t_1 - (сек.). Так як підсумовується поспіль всіх вступників як негативних, так і позитивних значень ампер-годин, то в результаті, в кожен момент часу, фіксується зміна величини ємності акумуляторної батареї в порівнянні з початком виміру.

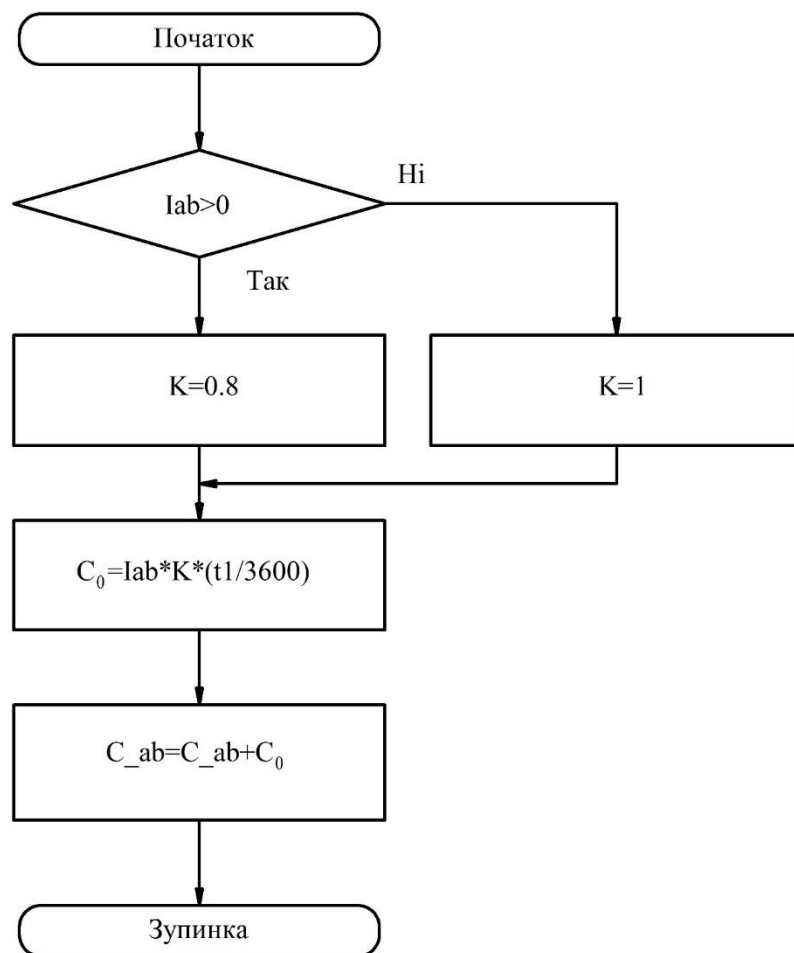


Рисунок 4.5 - Алгоритм визначення зміни ємності АБ

Розряджаючись, акумулятор ніколи не може віддати в коло ту кількість енергії, яку він отримав при заряді. Віддача акумулятора буде завжди менше, так як частина енергії витрачається на нагрівання електроліту і хімічні процеси. В залежність від наявності струму заряду або розряду визначається коефіцієнт K . Тому для заряду K приймається рівним 0,8, маючи на увазі подальше коригування в процесі експлуатації. За формулою

$$C_0 = I_{AB} \cdot K \cdot \left(\frac{t_1}{3600}\right),$$

розраховуємо зміну ємності на цей момент.

У формулі 2.1: t_1 - інтервал часу між вимірами (сек.), при замірах і проведенні розрахунків з дискретністю 1 з $t_1 = 1$.

Найбільш ймовірними причинами несправності кола акумуляторної батареї є перегорання запобіжників, обрив кола, к.з. всередині батареї і зниження ємності.

Результатом перевірки правильності функціонування обладнання системи живлення кіл управління і АБ є діагностичні повідомлення та рекомендації машиністу. Вони видаються в разі виявлення порушень в роботі обладнання.

Таблиця 4.1 - Список діагностичних повідомлень

№ з/п	Формулювання діагностичного повідомлення	Рекомендація машиністу
A1	Немає вимірів напруги АБ.	Перевірити справність МСУД
A3	Можливо к.з. в колі АБ.	Послідовно вимикати споживачі
A4	Можливо переполюсовка або к.з. всередині батареї.	Необхідно замінити батарею
A5	Підвищена напруга АБ	Перевірити коло заряду АБ
A6	Ємність батареї менше початкової	Перевірити коло заряду АБ
A7	Батарея розряджена.	Піднімати струмоприймач
A8	Немає заряд а АБ.	Перевірити коло заряду АБ

Таблиця 4.2 - Список використовуваних позначень

Позначення	Розшифровка
$U_{аб}$	Напруга на АБ
$I_{аб}$	Струм АБ (при позитивних значеннях - струм заряду, при негативних - розряду)
$C_{аб}$	Розрахункова ємність АБ
t	Лічильник часу
$U_{кс}$	Напруга в контактній мережі
$U_{пот}$	Поточні значення напруги на АБ
$U_{попер}$	Значення напруги на АБ на попередньому кроці
K	Коефіцієнт заряду АБ

Про виникнення несправності або відмови своєчасно повідомляється машиністові. Шляхом видачі відповідного діагностичного повідомлення. Рекомендації машиністу по виправленню виникненої несправності видаються за запитом (таблиця 4.1). Повний список діагностичних подій і параметрів наведено в додатку.

4.3 Дослідження розроблених алгоритмів на експериментальній моделі

Для перевірки правильності запропонованих алгоритмів необхідно провести наступні роботи:

- 1 реалізувати програму аналізу збіжності та достовірності результатів, написана в середовищі MatLab;
- 2 розробити імітатор руху локомотива, призначений для моделювання

граничних і неприпустимих режимів роботи обладнання, які неможливо отримати в поїзді без шкоди для обладнання електровоза;

3 розроблити аналізатор поїздок, призначений для відстеження в режимі реального часу поїздок на стаціонарній робочій станції;

4 розроблити програму діагностування на борту електровоза.

Середовище розробки MatLab має вбудовані засоби для математичного моделювання технічних систем, а також гнучкі засоби програмування, орієнтовані на рішення задач, пов'язаних з побудовою моделей. Програма, розроблена в цьому середовищі, дозволила перевірити збіжність результатів моделювання. Вхідними параметрами програми були рівняння системи, рівняння вимірювання, початкові умови, апріорні значення параметрів, дані поїздок електровоза. Для моделі спостереження розраховувалися помилки оновлення, коефіцієнт посилення Калмана, ковариация помилки стану. Для моделі прогнозу додатково розраховувалася ковариация помилки прогнозу стану. Аналізувалася збіжність (розбіжність) фільтра при спостереженні і прогнозі.

Ряд несправностей, які виявляє система діагностування важко відтворити безпосередньо на електровозі. Вони трапляються рідко, але можуть призвести до серйозних збоїв та відмов у роботі обладнання. Імітатор руху локомотива повністю відтворює всі сигнали МСУД на стаціонарній робочій станції. Це дозволило перевіряти алгоритми, задаючи граничні і недопустимі режими роботи устаткування, які неможливо отримати в поїзді без шкоди для обладнання електровоза. Імітатор був створений на підставі конструкторської документації на електровози 2ЕС6, 2ЕЛ4, а також МСУД в середовищі програмування Visual Studio 2008 року на мові програмування C++.

Алгоритми, представлені в розділах 3 і 4, реалізуються в бортовій мікропроцесорній системі управління і діагностування електровозів 2ЕЛ4 і 2ЕС6. В результаті роботи системи машиністу видаються повідомлення і рекомендації, наведені в таблиці 4.1. Всі алгоритми перед програмуванням в бортовій системі локомотива пройшли перевірки на робочій станції. Принципова схема організації роботи аналізатора і імітатора поїздок представлена на рисунку 4.6.

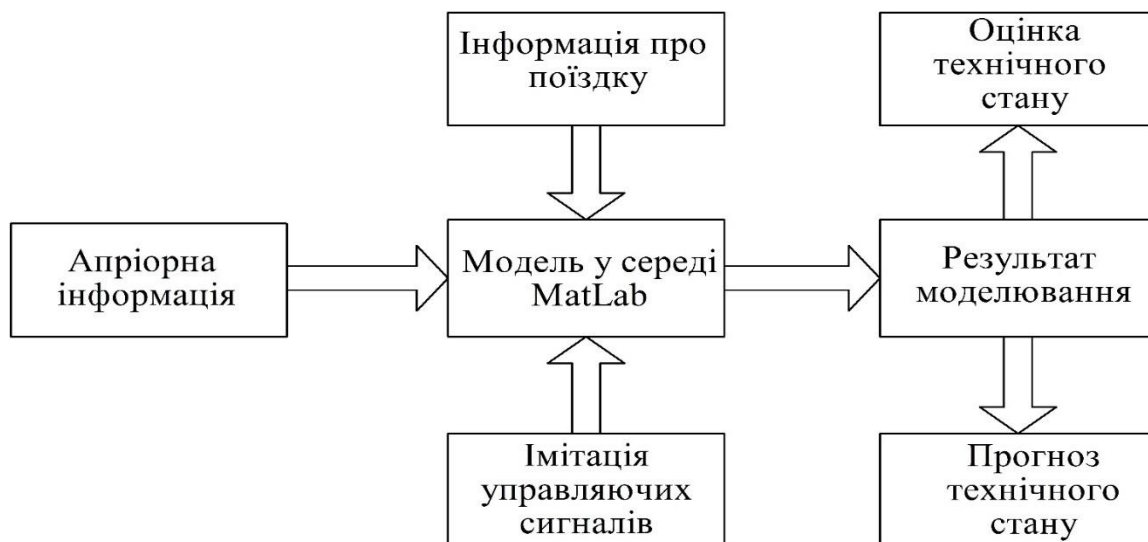


Рисунок 4.6 - Схема організації імітатора і аналізатора поїздок для електровозів 2ЕЛ4 і 2ЕС6

Опис роботи діагностичних алгоритмів на електровозі 2ЕЛ4 наведено нижче.

Машиністу відкривається вікно «Перевірка акумуляторної батареї» (рисунок 4.7) відкривається після натискання клавіші 4 в основному вікні.

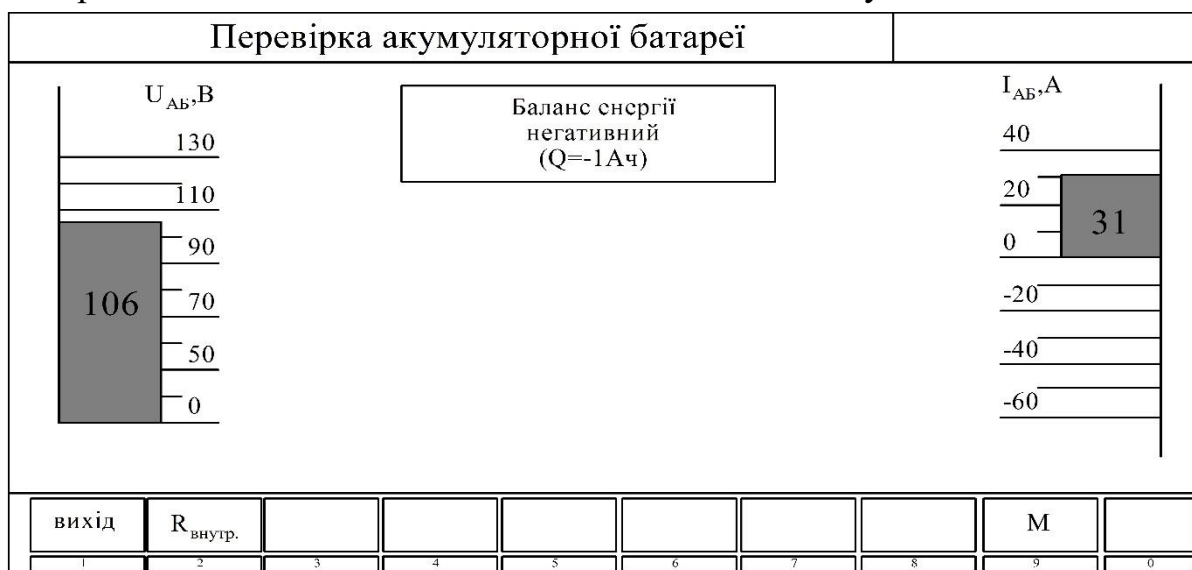


Рисунок 4.7 - Перевірка акумуляторної батареї

В основному полі відображаються:

- індикатор напруги батареї у вигляді графічної шкали;
- індикатор струмів заряду і розряду батареї, в залежності від режиму роботи, у вигляді графічної шкали;
- інформація про значення балансу енергії.

Також він може переглянути вікно перевірки внутрішнього опору (рисунок 4.8)

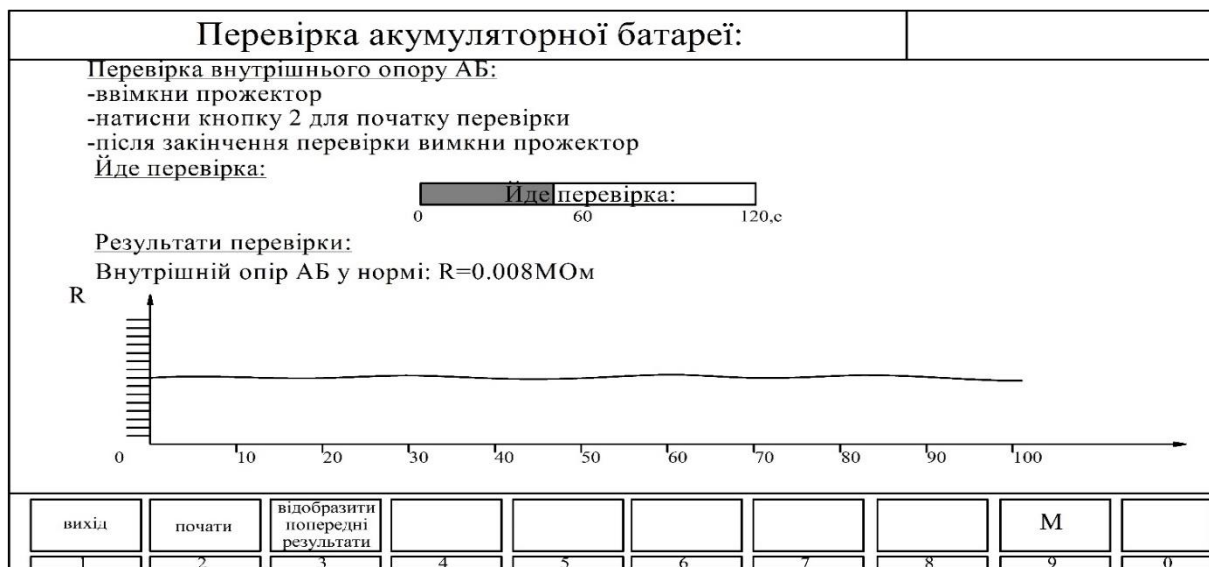


Рисунок 4.8 - Екран перевірки внутрішнього опору акумуляторної батареї

В основному полі відображаються:

1 Послідовність дій машиніста при проведенні перевірки внутрішнього опору батареї. Зокрема повідомлення, послідовно:

- «Включи прожектор»;
- «Натисни кнопку 2 для початку перевірки»;
- «Після закінчення перевірки увімкни прожектор».

2 Хід виконання перевірки у вигляді графічної індикації.

3 Результати перевірки. Зокрема:

- Повідомлення «Внутрішній опір АБ в нормі» або «Внутрішній опір АБ вище норми», в залежності від результатів перевірки.

- Графік зміни значень внутрішнього опору батареї за попередній період.

Для ілюстрації запропонованої методики опишемо ряд несправностей СНЖ, зафіксованих на електровозах 2ЕЛ4 №001...005 і 2ЕС6 № 77, 101, 102, 104, 462 за період 2006-2009 років.

Підсистема діагностування найчастіше виявляла відсутність замірів живлення акумуляторної батареї, що було викликано несправністю МСУД.

Знижена напруга фіксувалася неодноразово в кінці поїздки. Графік показаний на рисунку 4.9.

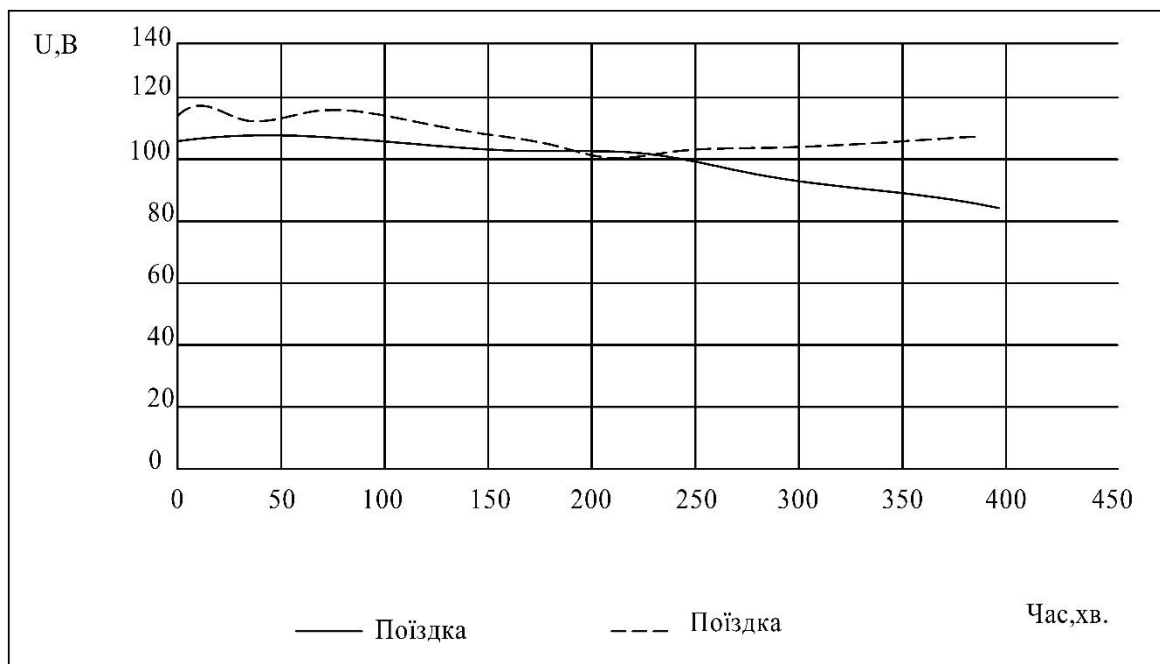


Рисунок 4.9 - Графік зміни напруги акумуляторної батареї електровоза 2ЕЛ4 в процесі поїздки для різних режимів навантаження

Відхилення оцінюваних параметрів, таких як внутрішній опір батареї, рівень електроліту, його щільність, а також спожита і віддана ємність розраховувалися на основі даних поїздок електровозів 2ЕЛ4 і 2ЕС6. При цьому, при аналізі випарювання електроліту встановлено, що режими роботи СНЖ в поїздках такі, що доливання електроліту в період між плановими технічними оглядами не потрібно. Також незначно змінюється щільність електроліту, при цьому зміна щільності вкрай слабо позначається на ємності батареї, що обумовлено конструкцією нікель-кадмієвих акумуляторних батарей рухомого складу.

Як було показано в розділі 3, одним з найважливіших параметрів, що характеризують технічний стан СНЖ є внутрішній опір акумуляторної батареї. У розділі 4.1 запропонована методика оцінки величини внутрішнього опору в депо під час технічного огляду. Однак, знання того, як змінюється величина внутрішнього опору в процесі поїздки, дозволяє виявляти несправності СНЖ в режимі реального часу. До зміни величини внутрішнього опору можуть привести такі фактори як коротке замикання, переполнювання батареї, зміна структури і щільності електроліту. Оперативна і достовірна оцінка внутрішнього опору під час перевезення дозволяє своєчасно виявляти ці несправності. Складність полягає в тому, що перерахунок величини оцінки внутрішнього опору можливо проводити лише при навантаженні на батарею. При цьому розрахунки повинні виконуватися неодноразово з різним навантаженням. Відповідно до методики, описаної в розділі 4.1, були проаналізовані дані з поїздок електровоза 2ЕЛ4 №002. Результати моделювання наведені на рисунку 4.10.

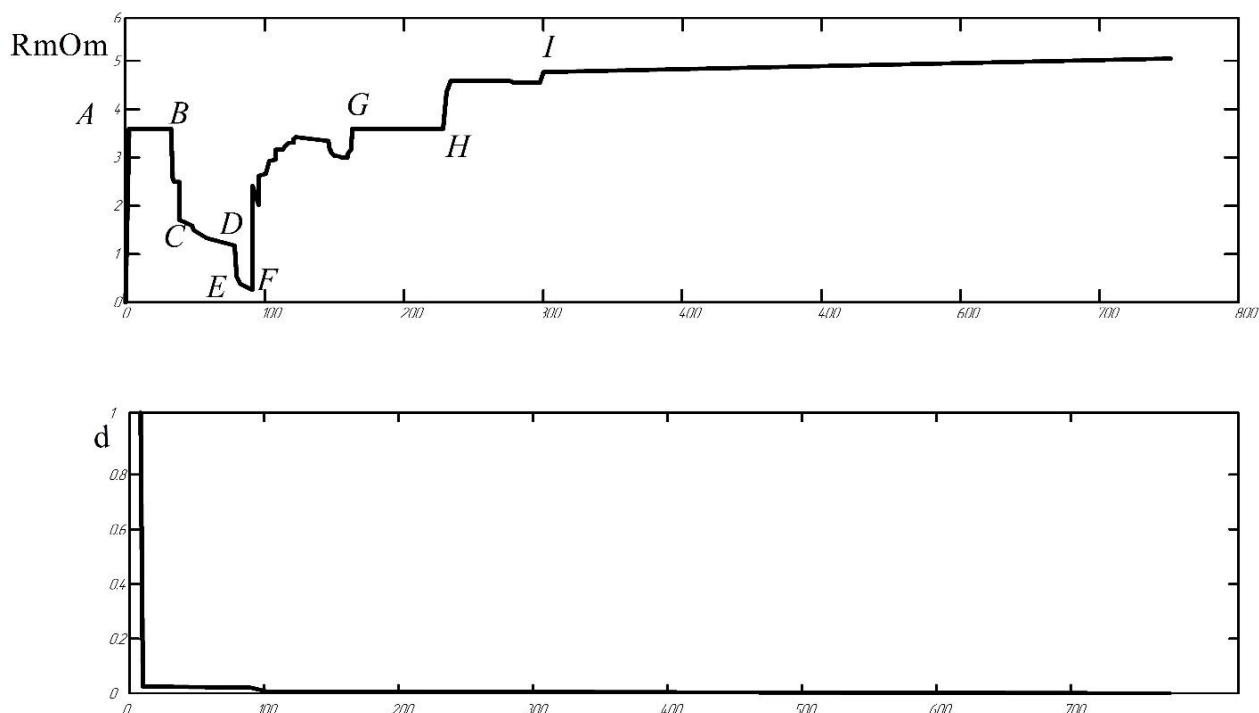


Рисунок 4.10 - Розраховані за непрямыми виміряним параметрам величини внутрішнього опору акумуляторної батареї (R) і дисперсії оцінюваних параметрів (d)

Розглянемо докладніше графік. У його верхній частині наведено значення оцінки внутрішнього опору батареї, в нижній - дисперсія оцінки. На ділянці АВ у верхній частині графіка оцінка внутрішнього опору постійна і дорівнює апріорному значенню, на ділянці ВС батарея отримала навантаження і став можливим розрахунок внутрішнього опору. На ділянках DCDF постійно йшла робота батареї під навантаженням, при різних значення розрядного струму і відбувалося накопичення інформації. На ділянці FG навантаження на батарею скорочувалося, накопиченої інформації стало досить для зниження дисперсії оцінки. На ділянці GH навантаження з акумуляторної батареї було знято. Між 220 і 300 циклами ітераційного алгоритму, ділянка HI, був досягнутий мінімум дисперсії оцінки величини внутрішнього опору. Інформація зчитувалася з файлу записи поїздки з кроком в одну секунду, таким чином розрахункове значення внутрішнього опору було отримано за 300 секунд.

Також важливим інформаційним параметром батареї є розрахункова ємність або кількість електрики, повідомленим акумулятору, яка вимірюється в ампер-годинах і розраховується безперервно під час поїздки. Алгоритм оцінки технічного стану акумуляторної батареї по співвідношенню зарядної і розрядної ємностей наведено в третьому розділі. У декількох поїздках відзначалося зниження розрахункової ємності батареї, як показано на рисунку 4.11.

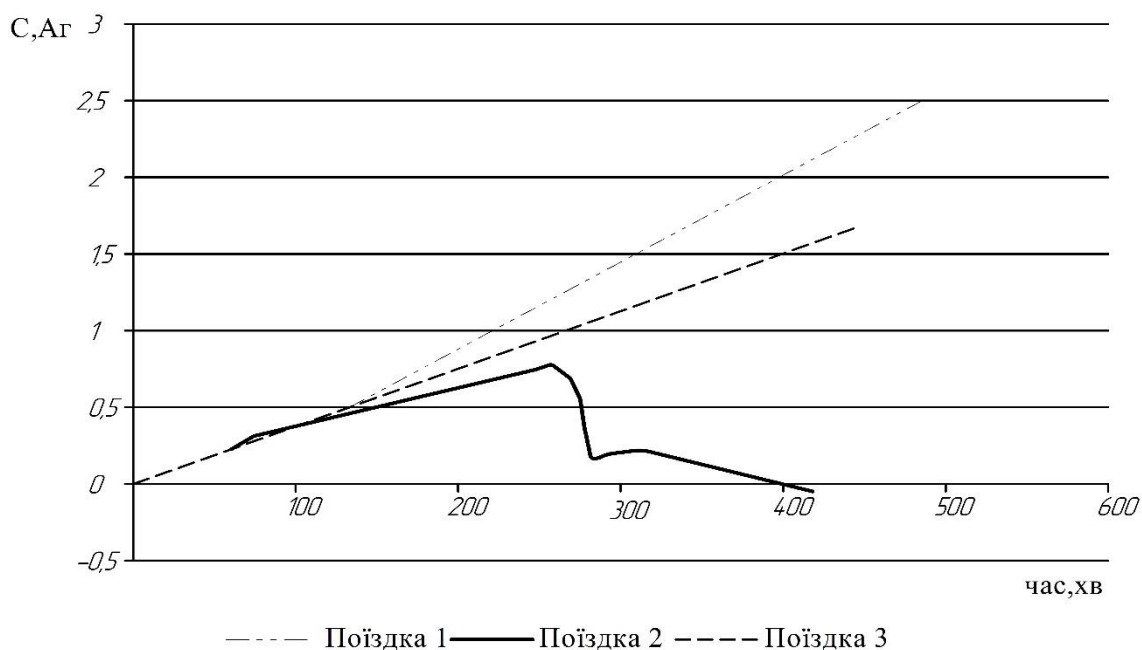


Рисунок 4.11 - Зміна ємності АБ під час поїздки електровоза 2ЕЛ4 №002

Зниження розрахункової ємності батареї великим струмом споживання СНЖ під час стоянок без піднятого струмоприймача.

Достовірність результатів діагностування по запропонованим алгоритмам відповідно до даних експлуатації діагностичної підсистеми досягає 80%. Для оцінки технічного стану по внутрішньому опору це може бути проілюстровано, як показано на рисунку 4.12.

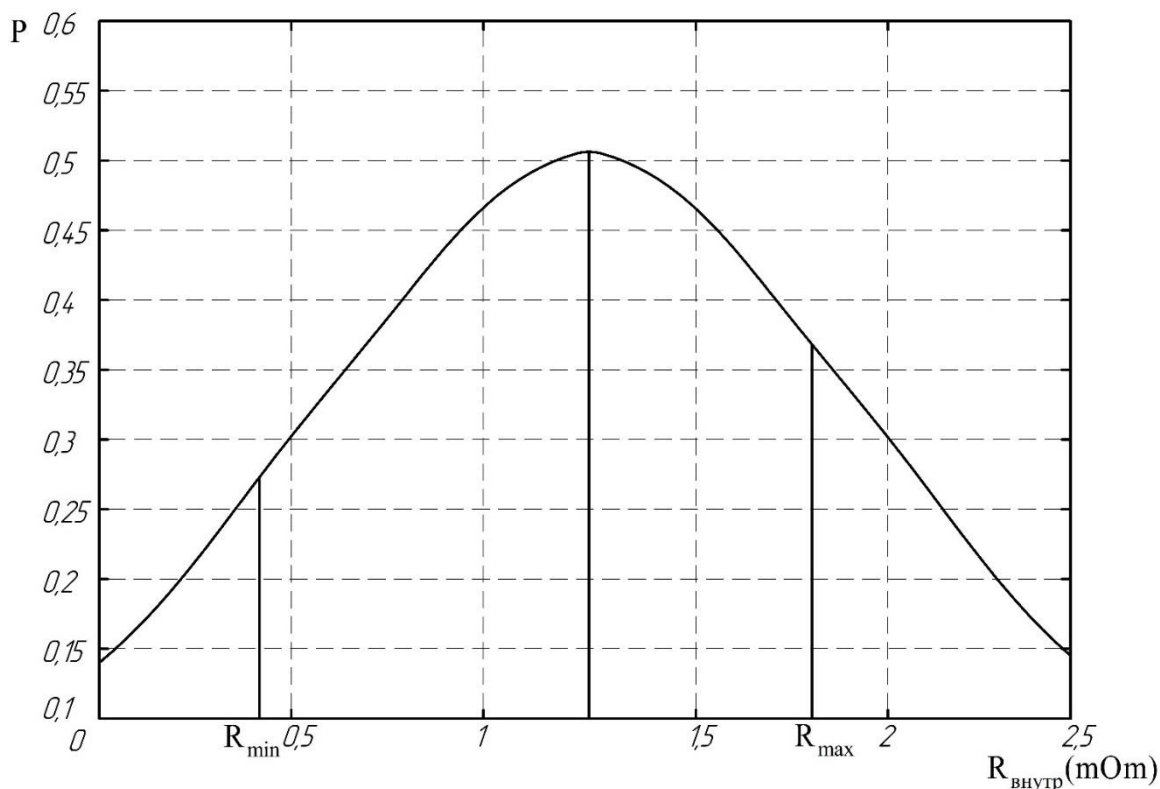


Рисунок 4.12 - Достовірність оцінки технічного стану акумуляторної батареї за величиною внутрішнього опору

Оцінка технічного стану акумуляторної батареї вважається достовірною якщо оцінка розрахункового параметра (в даному випадку внутрішнього опору батареї) лежить між точками R_{min} і R_{max} при працездатному стані і поза цим інтервалом при непрацездатному. Достовірність оцінки технічного стану батареї по внутрішньому опору буде характеризуватися площею під кривою між точками R_{min} і R_{max} .

4.4 Економічний ефект від впровадження алгоритмів діагностування на електровозі 2ЕЛ4

Ефектообразуючим фактором при впровадженні підсистеми діагностування є скорочення витрат, пов'язане з передчасною заміною обладнання СНЖ. Завдяки оперативному контролю зміни рівня електроліту на борту електровоза з'являється можливість скоротити час технічного обслуговування в депо. Інформація про зміну величини внутрішнього опору і режимах заряду і розряду батарей на шляху проходження також скорочує час обслуговування і звужує межі пошуку можливих несправностей.

Дані для розрахунку річного економічного ефекту від впровадження підсистеми діагностування СНЖ в розрахунку на один електровоз наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Дані для розрахунку економічної ефективності

Найменування ефектообразуючого елемента	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Середньорічна кількість відмов СНЖ на один електровоз з відновленням в депо	$a_{\text{СНЖ}}$	0,54	
Середня вартість усунення однієї відмови СНЖ	$C_{\text{усун СНЖ}}$	160	грн.
Середня вартість обладнання СНЖ, що вийшло з ладу протягом року на один електровоз	$C_{\text{річ}}$	12,1	10^3 грн.
Зменшення відмов СНЖ усуваних в депо у % від загального їх числа	$e_{\text{СНЖ}}$	50	%
Ставка податку на прибуток	$H_{\text{пр}}$	30	%
Ставка податку на майно	$H_{\text{май}}$	2	%
Річний рівень амортизації відрахувань	$A.B.$	0,05	
Вартість обладнання одного електровоза	C	7000	грн.

Річний ефект або чистий прибуток $\Pi_{\text{ч}}$, отриманий від впровадження підсистеми, на один електровоз визначається за формулою

$$\Pi_{\text{ч}} = E_p - \Delta H_{\text{пр}} - \Delta H_{\text{май}},$$

де E_p – річна економія експлуатаційних витрат, грн.

$$E_p = E_{\text{СНЖ}} \cdot C_{\text{СНЖ}}^{\text{усун}} - \Delta A. B. = 27 \cdot 160 - 350 = 3970$$

де $E_{\text{СНЖ}} = a_{\text{СНЖ}} \cdot e_{\text{СНЖ}} = 0,54 \cdot 50 = 27$

$\Delta A. B. = 0,05 \cdot 7000 = 350$ грн. - збільшення амортизаційних відрахувань, пов'язане зі зростанням балансової вартості електровоза при його обладнанні підсистемою.

$$\Delta H_{\text{май}} = 0,02 \cdot (7000 + 7000 \cdot 0,95)/2 = 136,5 \text{ грн.},$$

де $(7000 + 7000 \cdot 0,95)/2$ - середня за перший рік експлуатації балансова вартість підсистеми.

$\Delta H_{\text{пр}} = (E_p - \Delta H_{\text{май}}) \cdot 0,3 = (3970 - 136,5) \cdot 0,3 = 1150$ - приріст податку на прибуток, пов'язаний зі скороченням експлуатаційних витрат при впровадженні підсистеми.

Тоді річний економічний ефект $P_{\text{ч}} = 3970 - 136,5 - 1150 = 2683,5$ грн.

Економічний ефект від заміни застарілого локомотивного парку на електровози, обладнані мікропроцесорною системою діагностування складе

$$E_{\text{заг}} = P_{\text{ч}} \cdot n_{\text{ел}} = 2683,5 \cdot 76 = 203946 \text{ грн.}$$

де $n_{\text{ел}}$ - загальна кількість електровозів, обладнаних підсистемою діагностування в складі МСУД

4.5 Висновки до розділу

1 На рухомому складі використовується буферний режим роботи акумуляторних батарей. При такому режимі роботи потрібен постійний контроль великої кількості факторів. Серед них фактична ємність батареї, струм заряду, температура електроліту, напруга батареї, рівень і щільність електроліту.

2 Оптимальний режим експлуатації лужних акумуляторних батарей буде полягати в тому, щоб батарея завжди повинна бути максимально зарядженою і не мати режимів перезарядження.

3 На електровозах, обладнаних мікропроцесорною системою управління, реалізована і використовується система бортового діагностування, що використовує алгоритми, засновані на застосуванні методів оптимальної фільтрації,

розрахунку зарядної і розрядної ємностей в режимі реального часу, перевірки відповідності режимів заряду і розряду заданому.

4 Усі алгоритми, реалізуються в бортовій мікропроцесорній системі управління і діагностування електровозів 2ЕЛ4 і 2ЕС6. В результаті роботи системи машиністу видаються повідомлення і рекомендації, всі алгоритми перед програмуванням на борту локомотива були перевірені на стаціонарній робочій станції.

5 Річний економічний ефект від впровадження підсистеми діагностування СНЖ перевищує 200 тис. грн.

ВИСНОВКИ

1 Розроблено структуру системи бортового діагностування електрообладнання електровоза.

2 Для підвищення ефективності бортового діагностування та достовірності інформації з зашумлених даних про параметри електрообладнання використані методи нелінійної оптимальної фільтрації.

3 Визначено апаратні і програмні засоби діагностичного забезпечення системи низьковольтного живлення електровоза. Для системи низьковольтного живлення рішення значної частини діагностичних завдань забезпечено безпосередньо в процесі руху електровоза і при передпоїздних перевірках.

4 Для системи низьковольтного живлення розроблена діагностична модель і методика оцінки технічного стану на основі нелінійного фільтра Калмана-Бьюси.

5 За рахунок впровадження підсистеми діагностування час на обслуговування акумуляторних батарей скорочується в 1,5 рази. Виявлення в процесі поїздки несправностей системи низьковольтного живлення дозволить зменшити час ремонтів орієнтовно на 10%.

6 Запропоновані принципи побудови діагностичної підсистеми системи низьковольтного живлення доцільно використовувати для діагностування інших вузлів і систем електровозів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Бадьян И.И. Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики электровоза // современные технологии автоматизации, 2000, №4, с.48-52.
- 2 Бессонов А.А. Прогнозирование характеристик надежности автоматических систем. - Л.:Энергия,1971. - 136с.
- 3 Вайлов А.М., Эйгель Ф.И. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей. -М.: Связь, 1975. - 172 с.
- 4 Грузовые локомотивы Европы- Железные дороги мира, 2002, №10, с.43-46.
- 5 Диагностика и мониторинг технического состояния подвижного состава- Железные дороги мира, 1997, №11, с. 13-16.
- 6 Диагностика и техническое содержание поездов ICE- Железные дороги мира, 1995, №11, с.20-26.
- 7 Локомотивный парк железных дорог Северной Америки- Железные дороги мира, 2001, №11, с.37-41.
- 8 Мозгалеvский А.В., Глазунов Л.П., Щербаков О.В. Диагностические модели для определения работоспособности объекта. - В кн.: Техническая диагностика систем управления. - Л.:1972.-с.6-17
- 9 Организация ремонта подвижного состава в Северной Америке // Железные дороги мира, 2003, №3, с.27-31.
- 10 Хрусталёв Д.А. Аккумуляторы. - М.: Изумруд, 2003. - 224 с, ил.

ДОДАТКИ

Додаток А - Відомість матеріалів

Додаток Б –Мультимедійні демонстраційні матеріали

Додаток А - Відомість матеріалів

1 Розрахунково-пояснювальна записка до дипломної магістерської роботи, яка складається з 81 аркуша печатного тексту, виконаного за допомогою засобів ПЕОМ з використанням програми WORD 2003 Free.

2 Демонстраційний матеріал до дипломної магістерської роботи, який містить в собі 9 аркушів, виконаний за допомогою засобів ПЕОМ з використанням програми PowerPoint 2003 Free.

Додаток Б - Мультимедійні демонстраційні матеріали

- 1 Структура системи діагностування сучасних електровозів.
- 2 Алгоритм функціонування діагностичної моделі.
- 3 Алгоритм застосування фільтра Калмана-Бьюсі.
- 4 Схема живлення кіл управління і заряду акумуляторної батареї.
- 5 Граф впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на технічний стан акумуляторної батареї.
- 6 Алгоритм діагностування акумуляторної батареї.
- 7 Алгоритм аналізу акумуляторної батареї.
- 8 Алгоритм визначення зміни ємності акумуляторної батареї.



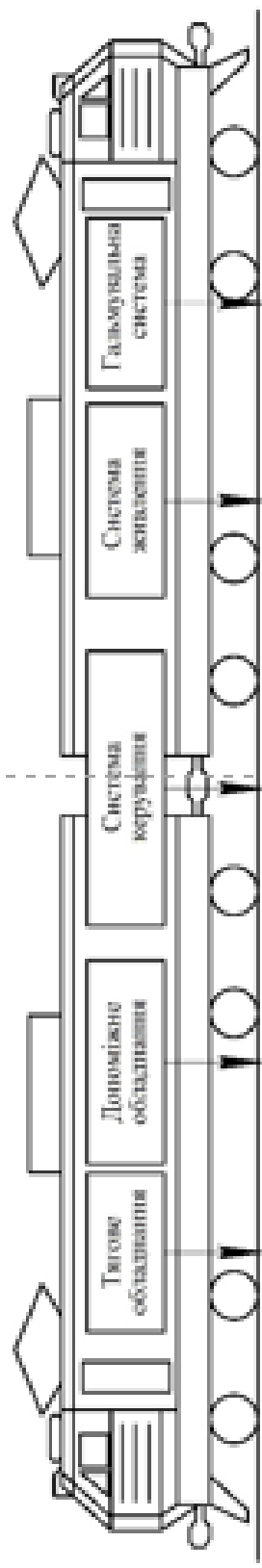
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КІЛ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Виконав: Олійник К.В., гр. ЕТ20120
Керівник: Васильєв В.Є.

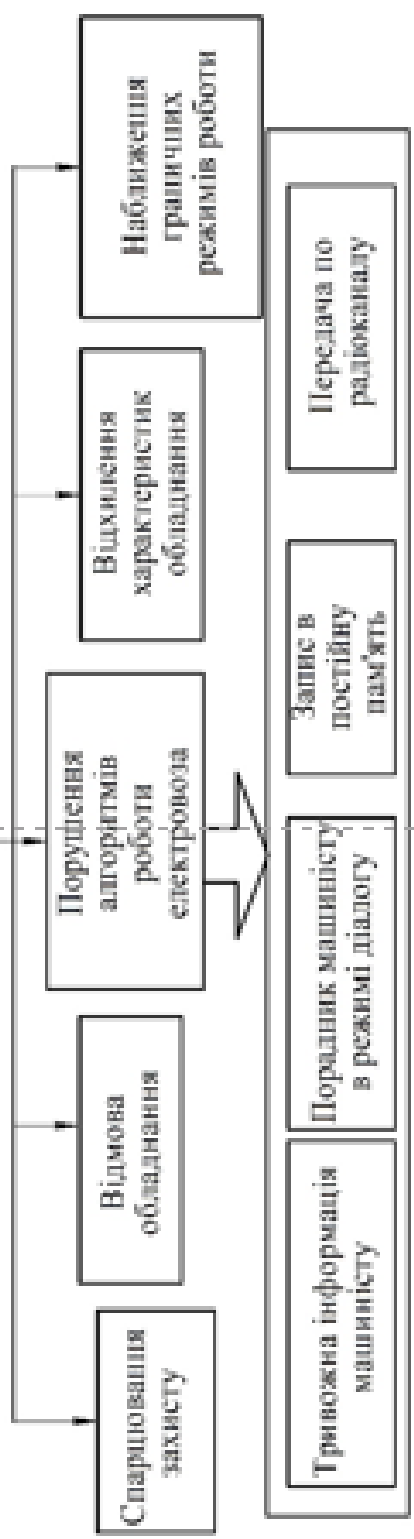
СТРУКТУРА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

1



Аналіз процесів функціонування, моделювання роботи обладнання

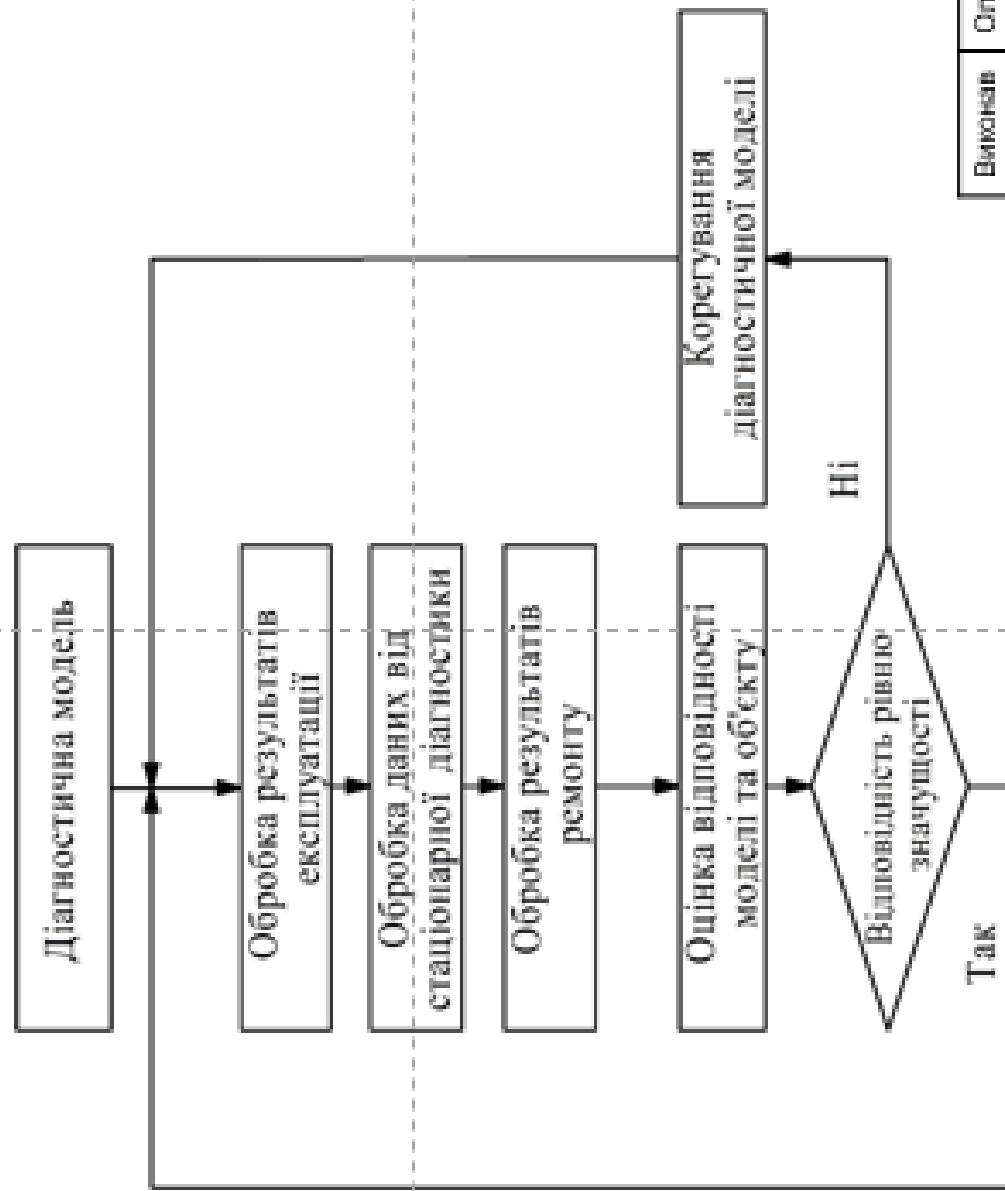
Діагностичні події



Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2

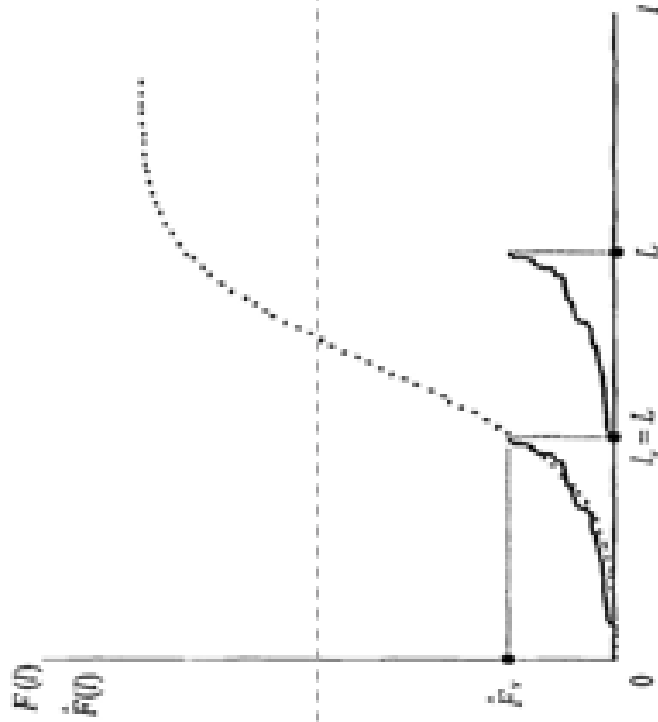
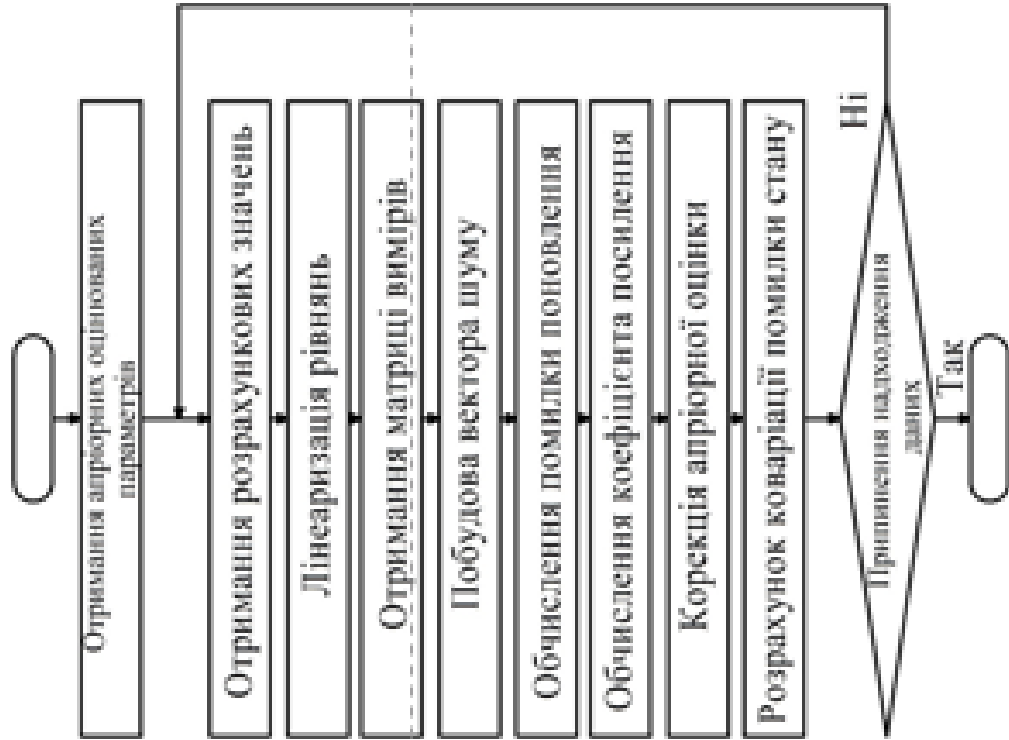


Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

АЛГОРИТМ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА

3

ФУНКЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАПРАЦЮВАНЬ НА ВІДМОВУ



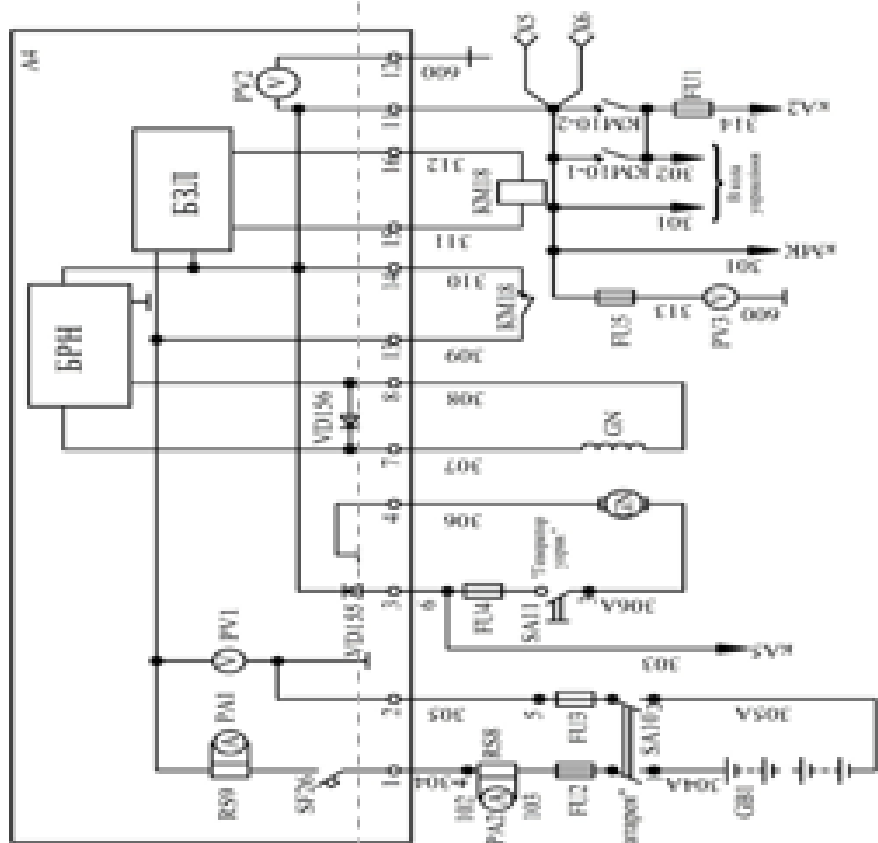
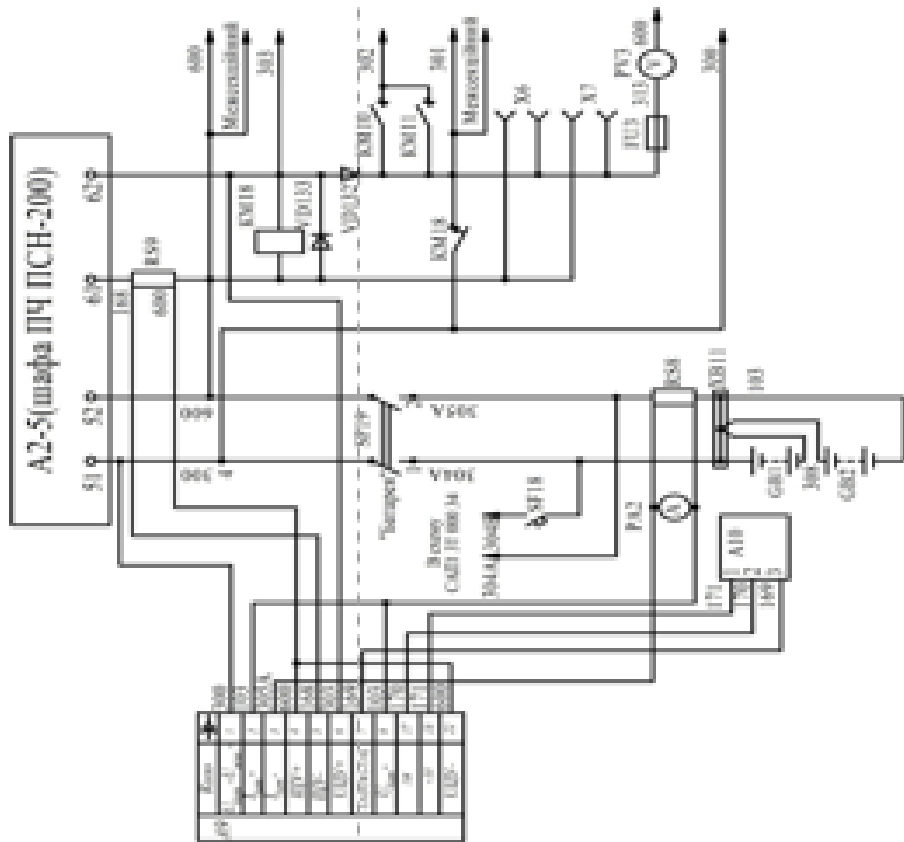
Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

СХЕМА ЖИВЛЕННЯ КІЛ УПРАВЛІННЯ І ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

4

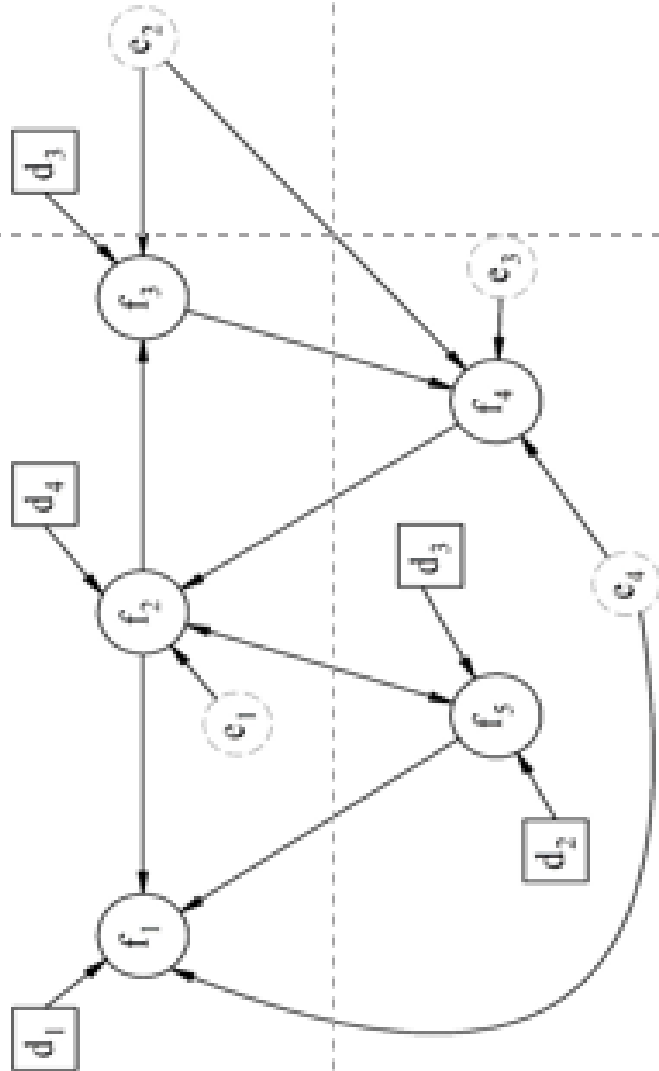
Електровоз 2ЕЛ4

Електровоз ВЛ11М6



Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.С.

ГРАФ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ І ВНУТРІШНІХ ФАКТОРІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ



Вплив зовнішніх факторів (символ f):

- напруга АБ (f_1),
- струм заряду і розряду (f_2),
- ємність АБ (f_3),
- внутрішній опір АБ (f_4),
- рівень електроліту (f_5).

Можливі дефекти (символ d):

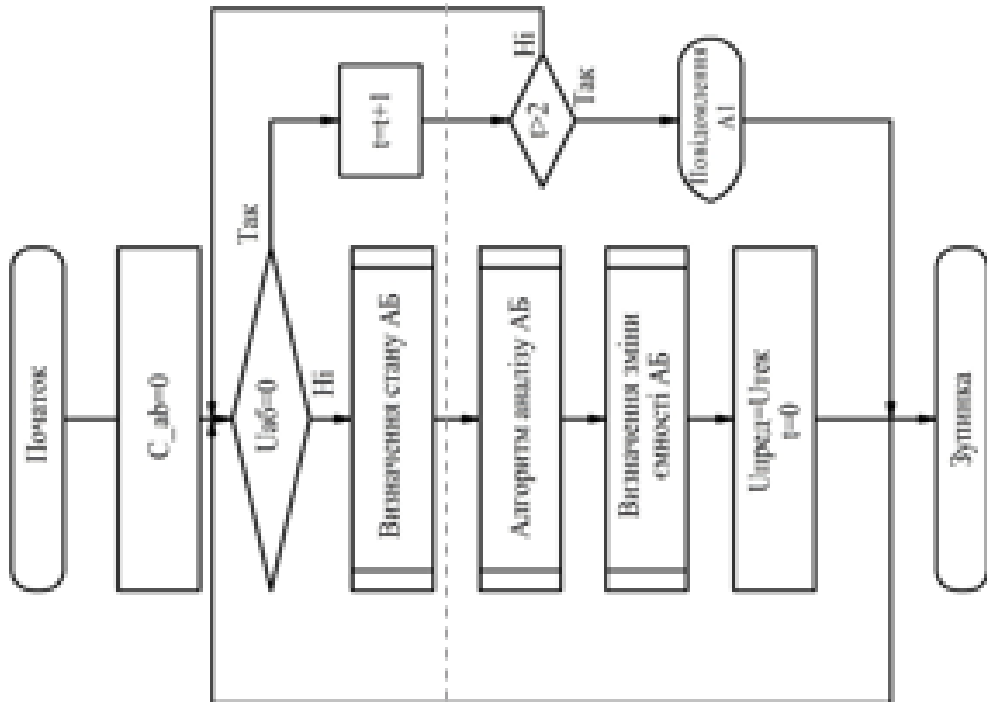
- механічний знос генератора або пестправності ПСН (d_1),
- негерметичність батареї (d_2),
- низький рівень електроліту (d_3),
- неправильна установка генератора або ПСН (d_4).

Технічний стан (символ e):

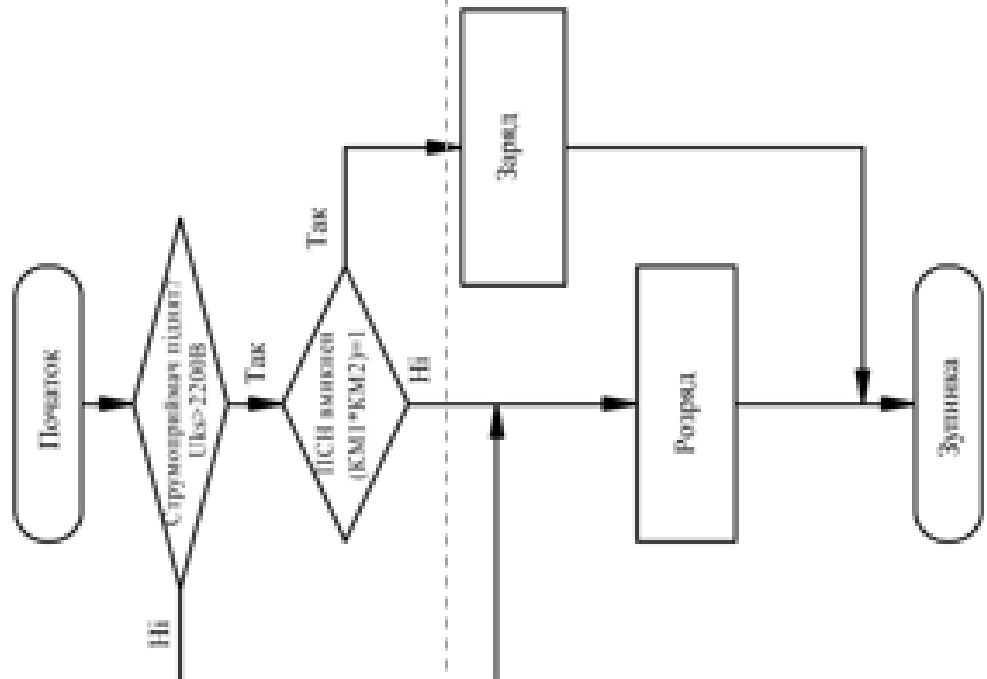
- герметичність батареї (e_1),
- хімічний склад електроліту (e_2),
- температура електроліту (e_3),
- технічний стан внутрішніх провідників (e_4),
- технічний стан генератора (e_5).

Виконав	Опійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

АЛГОРИТМ ДІАГНОСТУВАННЯ АБ

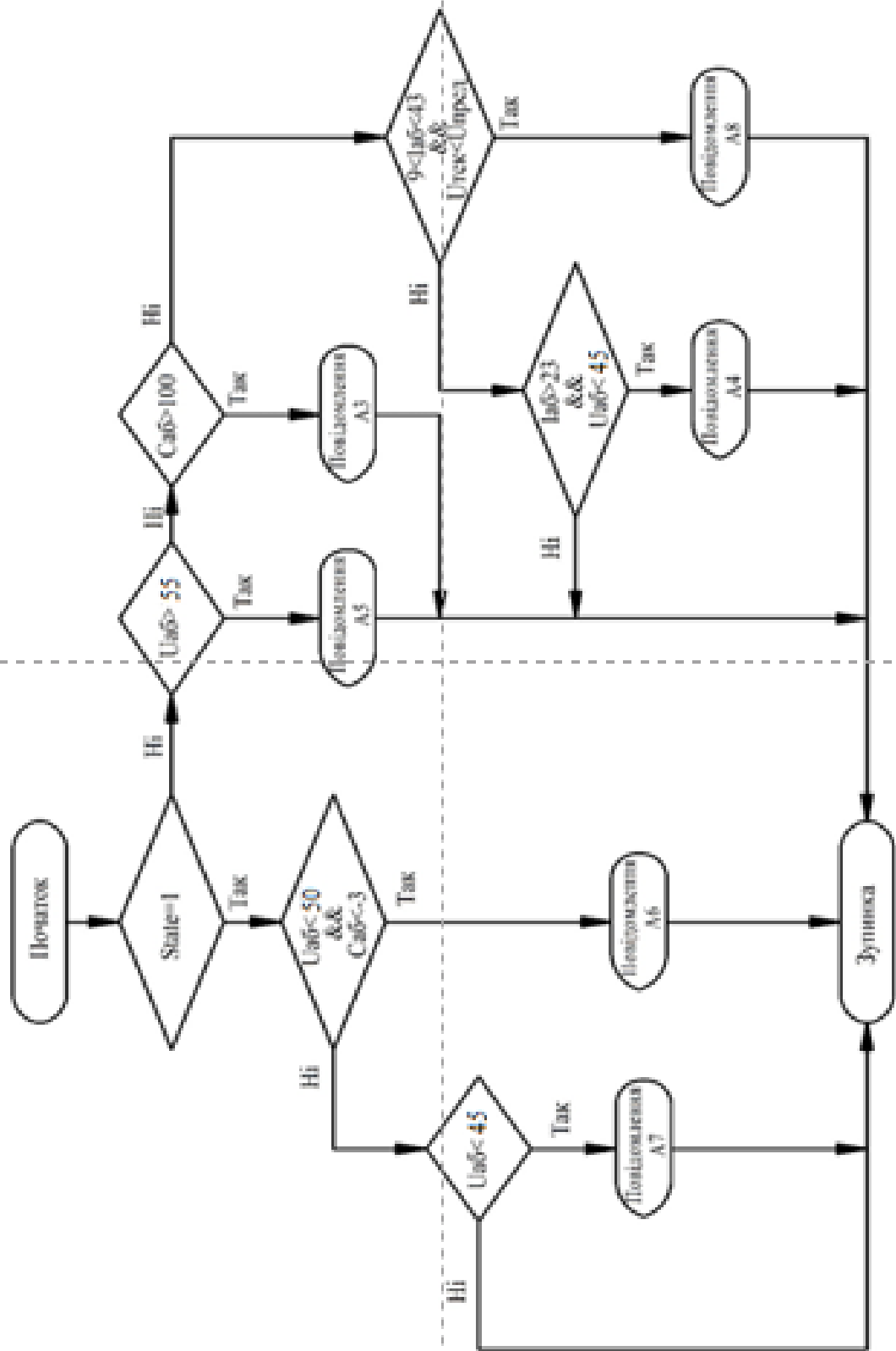


АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ АБ



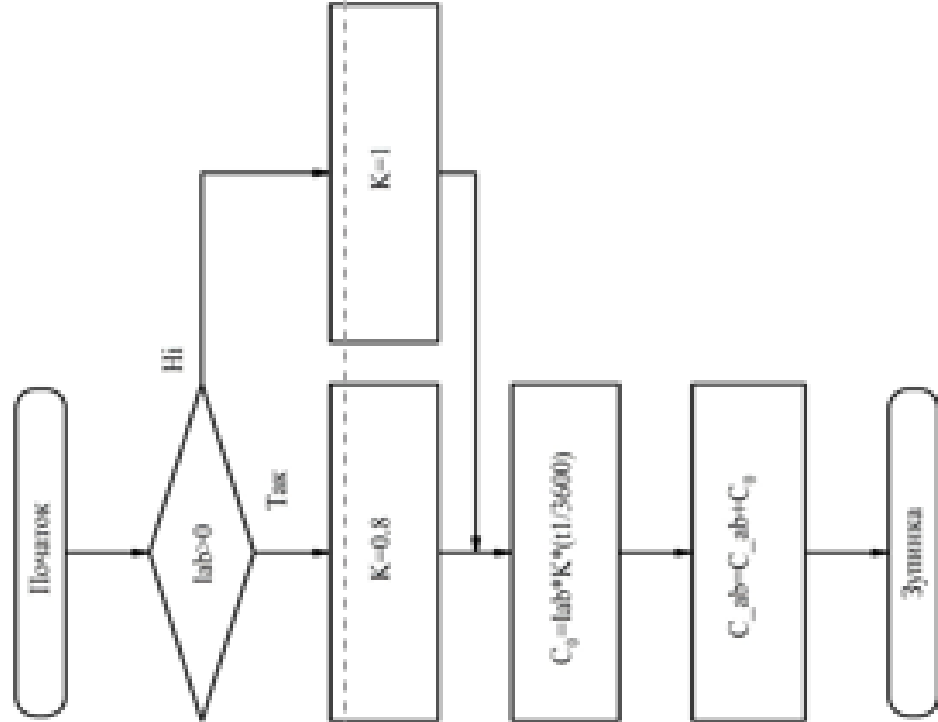
Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ



Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.

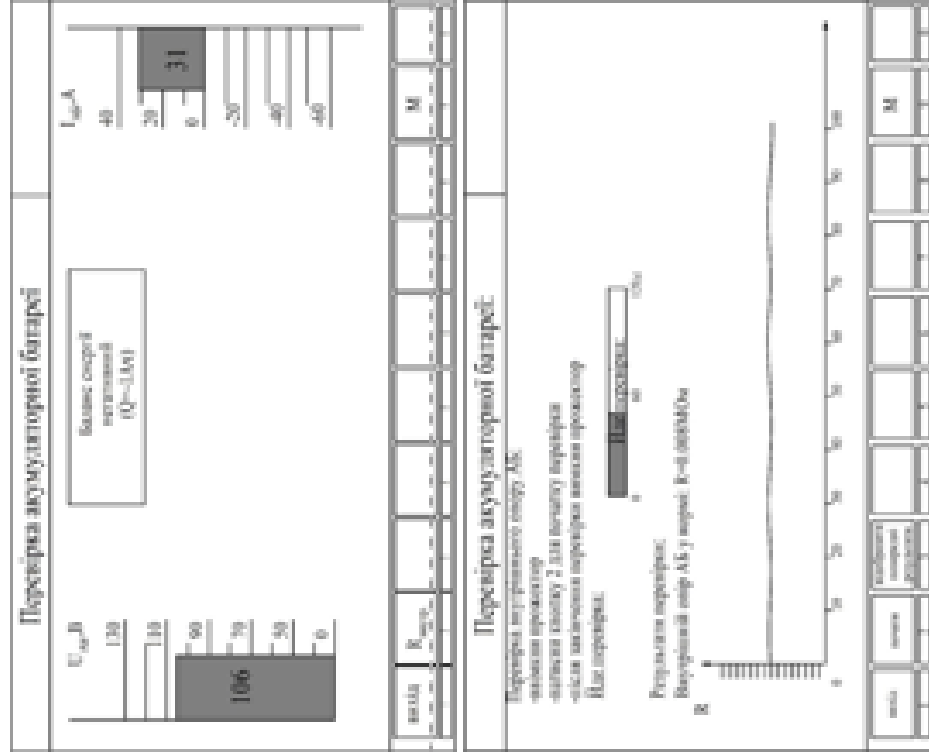
АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ЄМНОСТІ АБ



ПЕРЕВІРКА

8

АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ



Виконав	Олійник К.В.
Керівник	Васильєв В.Є.