

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Електрорухомий склад залізниць
(повна назва)

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Гетьман Г.К.
(підпис) (ПІБ)

2020 р. 29/11/20

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 14 Електрична інженерія
(шифр) (назва)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код) (повна назва)

Спеціалізація Електричний транспорт
(повна назва)

Тема Розробка ефективних заходів з покращення якості
обслуговування та ремонту електрорухомого складу

Theme The development of the effective ways to improve the quality of the electric
rolling stock's maintenance and repair

Керівник дипломної роботи проф. Артемчук В.В.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер проф. Артемчук В.В.
(посада) (підпис) (ПІБ)

Студент групи ЕТ1926 Козаков В.О.
(група) (підпис) (ПІБ)

Student Kozakov V.
(Family name)

Реферат

Дипломний проект «Розробка ефективних заходів з покращення якості обслуговування та ремонту електрорухомого складу» має обсяг записки сторінок, ілюстрацій, таблиць, додатків, літературних джерел.

Даний дипломний проект має на меті запропонувати низку заходів з максимального продовження працездатного стану рухомих одиниць із збереженням їх функціональних можливостей.

У першому розділі проведений аналіз стану рухомого складу залізничного транспорту та його вплив на ефективність.

В другому розділі проведено обґрунтування та аналіз технічної діагностики рухомого складу.

У третьому розділі розглянуто моделювання надійності рухомого складу.

Четвертий розділ присвячений аналізу комплексної системи управління надійністю залізничної техніки.

Ключові слова: технічний стан, система обслуговування та ремонту, рухомий склад, експлуатація та ремонт, ефективність.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розробка та впровадження нових технічних та технологічних рішень в галузі експлуатації та обслуговування тягового рухомого складу вносить значний внесок у вдосконалення залізничного транспорту, що є досить актуальним для розвитку економіки та підвищення загального технічного рівня галузі. Серед різних транспортних систем залізничний транспорт займає одне з провідних положень за обсягом, номенклатурою і способам перевезення. Особливо актуальна зазначена проблема для прикордонних та припортових ділянок. В багатьох регіонах залізничний транспорт є основним засобом переміщення вантажів і пасажирів, а також важливою містоутворюючою складовою. Зокрема, залізничні депо, що знаходяться на цих територіях, утворюють значне число робочих місць. При експлуатації з'являється безліч специфічних проблем технічного, організаційного, інформаційного та соціального характеру. Одним з найбільш узагальнених показників ступеня вирішення цих проблем є якість залізничних перевезень. Воно характеризується своєчасністю, безпекою і рівнем сервісного обслуговування. Якість перевезень забезпечується функціонуванням всіх структурних елементів системи залізничного транспорту. Серед інших факторів, що впливають на якість перевезень, слід виділити надійність рухомого складу. Для залізничного транспорту вона має першорядне значення внаслідок того, що він відноситься до так званих конвеєрних систем. У цих системах зупинка поїзда в будь-якому місці шляху призводить до зупинки всіх наступних за ним поїздів. Це накладає підвищені вимоги до надійності рухомих одиниць. До теперішнього часу спостерігається старіння залізничної техніки. Її оновлення потребує значних витрат. Тому на сьогоднішній день найбільш актуальна задача максимального продовження працездатного стану рухомих одиниць із збереженням їх функціональних можливостей. Властивість зберігати працездатність техніки також називають функціональною надійністю. Історично склалася система

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримки функціональної надійності рухомих одиниць позитивно зарекомендувала себе на залізничному транспорті. Ця система об'єднує сукупність спеціалізованих операцій і певну технологію їх виконання. Існуючий нормований ланцюг операцій технічного огляду, технічного обслуговування, ремонту, підтвердив свою спроможність. У сучасних умовах виникла необхідність модернізації цієї системи за такими напрямками:

- перехід від ідеології планових ремонтів до системи обслуговування і ремонту за технічним станом;
- формування матеріальної і методичної бази для оперативного контролю технічного стану шляхом розробки та впровадження спеціалізованого діагностичного обладнання;
- інформаційна підтримка технологічного процесу системи забезпечення функціональної надійності транспорту.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Аналіз стану рухомого складу залізничного транспорту та його вплив на ефективність перевезень

При аналізі використовуємо критерії забезпечення максимальної надійності транспортного конвеєра. Виходячи з цього, слід враховувати, що в режимі нормального функціонування на шляху прямування присутні магістральні локомотиви (електровози, тепловози), а також вантажні або пасажирські вагони. Електропоїзди або дизель-поїзди слідує в спеціально виділені вікна, що зроблено свідомо за принципом мінімальних затримок основного транспортного конвеєра. На практиці, відносна кількість вантажних перевезень набагато перевищує пасажирські перевезення (включаючи місцевий транспорт). Тому розгляд надійності транспортного конвеєра повинно будуватися за такою послідовністю: вантажні вагони, пасажирські вагони, електровози, тепловози. Отриману логічну послідовність можна обґрунтувати математично. Припустимо, на конвеєрі перебуває P типів одиниць рухомого складу, причому в середньому на кінцевій ділянці шляху присутній n_i одиниць I типу. Припустимо, на цій ділянці присутня M рухомих одиниць. Позначимо через S_i надійність кожній з P типів таких одиниць. Тоді надійність N транспортного конвеєра можна виразити наступною формулою

$$N = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^P n_i N_i$$

Виходячи з наведеного виразу, на надійність транспортного конвеєра найбільший вплив роблять відносна кількість транспортних одиниць I типу n_i/M і надійність N_i цих одиниць. Таким чином, для надійного функціонування залізничного транспорту необхідно забезпечити наступні вимоги:

- 1) визначення номенклатури рухомих одиниць залізничного транспорту;
- 2) визначення відносної кількості кожної рухомої одиниці;
- 3) аналіз надійності згаданих рухомих одиниць і детальне вивчення складових надійності цих об'єктів;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) проведення технічної політики, яка має основну мету – підвищення надійності транспортного конвеєра. Сюди входять визначення критичних вузлів, пропозиції щодо підвищення їх надійності, оптимізація технологій обслуговування і ремонту рухомого складу.

Із існуючого рухомого складу розглянемо електровози.

У порівнянні з вагонами, складність електровозів набагато вище, причому ускладнення, в основному, йде за рахунок електротехнічного обладнання. Це – активна рухома одиниця, двигунами є тягові двигуни. Вони, з конструктивної точки зору – складні агрегати, причому частина елементів піддається активній дії навколишнього середовища, схильна до значних механічних і електромагнітних впливів. Колекторні вузли двигунів заповнюються провідниковим матеріалом щіток, після чого виникають кругові вогні і перепали; помітні зусилля виникають на зубчастих передачах. Крім ускладнення конструкцій, виникають проблеми з обслуговуванням окремих агрегатів комбінованого типу, що включає в себе і електричні, і механічні, та пневматичні (гідравлічні) складові. Наприклад, пантограф включає елементи електричні, пневматичні, механічні; контролер - механічні і електричні (як і інше комутаційне обладнання); головний вимикач і мотор-компресор - механічні, електричні, пневматичні. При організації ремонтів таких агрегатів виникає непроста задача в спеціалізації ремонтних бригад: вони повинні містити і механіків, і електриків, останні додатково спеціалізуються на фахівців силового та електронного обладнання. За наявної специфіці розміщення локомотивних депо (часто в невеликих населених пунктах) проблема комплектування ремонтних бригад стає важкою. Ця ситуація серйозно впливає і на інструкції з ремонту та обслуговування: вони неминуче повинні ґрунтуватися на якості ремонтних бригад, отже, вимоги до якості обслуговування знижуються.

Ситуація ще більше ускладнилася з впровадженням складних електронних приладів (електронний швидкостемір, КЛУБ, САУТ). Ремонтні

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ділянки стали включати в себе електронників, програмістів, кваліфікованих монтажників. Сфери поділу відповідальності ще більше розмиваються, в результаті якість ремонту знижується, а тривалість зростає. До сказаного додається те, що кількість вимірювальної, діагностичної апаратури та пристроїв по ремонту явно не відповідає необхідній кількості та складності локомотивів. Це неминуче впливає на зміст інструкцій з ремонту і в результаті якість ремонту та обслуговування ще більше погіршується. Ще одне видиме протиріччя: загальні для рухомого складу вузли мають різні інструкції з обслуговування. Так, інструкції по ремонту буксових підшипників служби вагонів і локомотивів мають різну функціональну наповненість, нормовані характеристики і профілі робіт.

Відзначимо також більш щадний режим роботи буксових підшипників локомотивів в порівнянні з вантажними вагонами. Це визначається тим, що підшипники навантажені постійним навантаженням, локомотиви мають строгі місця приписки і, отже, оглядаються ретельніше. Крім того, пробіг локомотивів враховується досить пунктуально, значить, ресурс деталей можна визначити. Враховуючи відомий пробіг локомотивів, можна ввести відносні одиниці у вигляді питомих відмов, що і робиться фактично, лише як нормованої величини вибирається пробіг в 1 млн. км.

Відзначимо, що якщо порівняти питому вагу несправностей для пасажирських вагонів і електровозів, то отримаємо відповідно 3,3 проти 69 порч на 1 млн. км. Іншими словами, пасажирські вагони приблизно в 20 разів більш надійні, ніж електровози. Наведені дані показують виняткову важливість організації кваліфікованого ремонту і контролю буксових підшипників. Удавана малість відносних несправностей букс для електровозів і тепловозів визначається в основному тільки способом нормування. Якщо ввести показник відносної складності рухомої одиниці і зробити поправки на кількість деталей, то отримуємо відносну частку ненадійності буксових вузлів у порівнянні з вантажними вагонами (прийнято за 1) у вигляді відповідної цифри в дужках.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Звідси видно, що відносний вплив буксових вузлів на надійність рухомих одиниць порівняно, але його зниження для пасажирських вагонів визначається кращою якістю обслуговування.

В ході аналізу рухомих одиниць виявлені найбільш відповідальні вузли, які призводять до відмов категорії - 00 (відмова з неможливістю транспортування). Це елементи конструкції: автозчепних вузлів, гальмівне обладнання, колісні пари, буксові вузли. З них найбільш забезпечені контролем деталі автозчепу (11 позицій контролю з 18), найменш - гальмівне обладнання. В принципі, найбільш небезпечні ситуації для автогальм (обрив повітропроводу) можна визначати за непрямою ознакою - зміни тиску в магістралі. Можна навіть зробити в кабіні машиніста спеціальний індикатор, що реагує на такі перепади. Гірше контроль буксових підшипників, особливо під час перевезення. В основному використовується органолептичний контроль (візуальний і простукуванням), що недостатньо. Отже, необхідно зосередити увагу на контролі буксових вузлів, особливо підшипників.

Можливі такі варіанти вирішення:

- контроль в русі поїздів. На станціях ПОНАБ встановлюється додаткове обладнання, яке виявляє акустичним способом дефектні буксові вузли (в тому числі із зазначенням номера дефектного вагона в складі). Цей метод потребує доопрацювання, оскільки необхідні додаткові випробування з отриманням об'єктивних оцінок. Такий варіант контролю може бути оціночним (у вигляді попередження), але в комплексній системі забезпечення безпеки руху він не бажаний;

- контроль стану підшипників на спеціальних станціях. Рухома одиниця встановлюється на спеціальні ролики, на яких колісні пари приводяться в обертання, а стан буксових вузлів визначається системою вібродіагностики. Є напрацювання, які дозволяють за характером вібрацій визначати навіть вид дефекту. Поки такі системи успішно функціонують на активних рухомих одиницях, що використовують власні двигуни для приведення коліс в обертання.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Як доведено в численних дослідженнях в області надійності технічних систем, найбільш небезпечним інтервалом часу є інтервал первісного запуску. Типовий графік залежності ймовірності відмови від часу має вид, показаний на рисунку 1.1.

Перша частина графіка, до мінімуму, відповідає періоду припрацювання і означає, що ймовірність відмови на ньому дуже велика. У складних технічних системах його видаляють приробленнями (тренуваннями), що пов'язане з додатковими витратами і не застосовується для таких порівняно простих пристроїв, як колісні пари в зборі.

У зв'язку з цим, прироблені колісні пари не потребують ремонту і можуть допускатися до подальшої роботи. Вихідний контроль на цьому ж стенді дозволяє оцінити якість ремонту. За його результатами може видаватися три типи рішень (так звані тернарні рішення): пристрій щороку до експлуатації, не щороку або вимагає додаткових досліджень. Останнє передбачає так звані адаптивні настройки: пристосування технологій ремонту та окремих їх операцій до конкретних умов (наприклад, в даному депо).

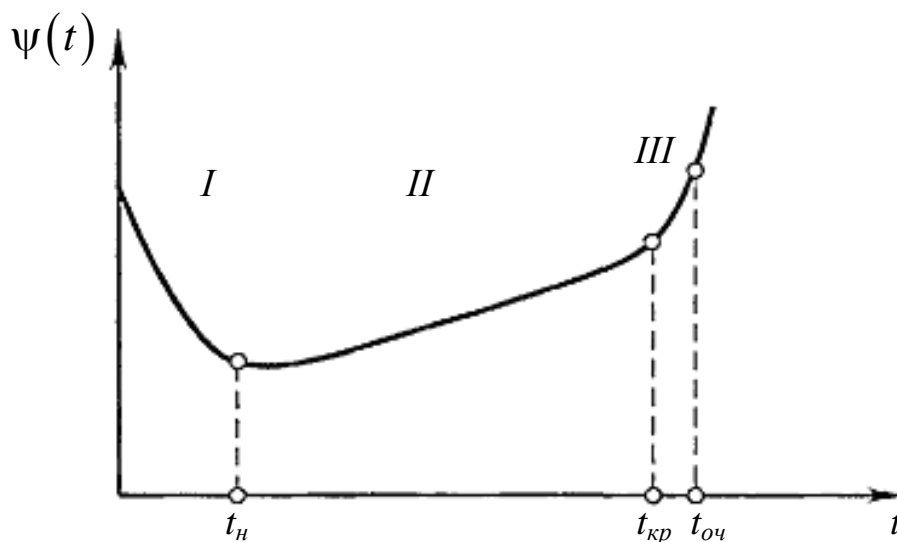


Рисунок 1.1 – Залежність ймовірності відмов від часу

Контроль, діагностика і ремонт буксових підшипників на спеціальних технологічних лініях. Такі операції повинні підкріплюватися повною ревізією

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

підшипників із складанням електронних паспортів, комплектуванням виробів за певними параметрами, створенням баз даних з обліку пробігу, залишкового ресурсу і створенням формулярів. Це найбільш радикальний засіб забезпечення якості ремонту та прогнозування терміну служби підшипників. Для реалізації останнього варіанту обслуговування необхідно створення спеціалізованих центрів по ремонту буксових підшипників. Їх кількість може бути невеликим, але вони повинні об'єктивно і гарантовано забезпечувати заданий ресурс роботи. Для створення таких центрів в якості основного обладнання повинні використовуватися дефектоскопи – спеціалізовані пристрої, дозволяють виявляти дефекти металу, в тому числі внутрішні. Згадані дефекти (тріщини, раковини) різко обмежують термін служби підшипників і можуть не виявлятися на органолептичних стадіях контролю. Такі комплексні рішення можливі тільки на великих станціях обслуговування і повинні включати безліч додаткових функцій контролю, діагностики, управління та інформатизації.

Основні фактори, що впливають на ефективність перевезень

Підприємства залізничного транспорту відчують труднощі з контрольно-вимірвальним обладнанням і діагностичними системами. Ринок контрольних та діагностичних засобів не насичений, тому будувати політику технічного оснащення доводиться в умовах обмежених коштів на модернізацію. Постановку задачі контролю та діагностування рухомого складу можна формулювати з різними критеріями оцінювання. Вартісний критерій. При експлуатації несправного рухомого складу підприємства транспорту несуть збитки. До них можна віднести:

- збитки через зрив графіків перевезень внаслідок несправностей, що виявилися на шляху прямування та пов'язаних з цим штрафних санкцій;
- вартість замінних пристроїв (як правило, не виявлені вчасно несправності ведуть до серйозних відмов обладнання);

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- витрати на доставку транспортних засобів, що відмовили до місця ремонту.

Функціональний критерій.

Основне призначення залізничного транспорту – вчасно та без втрат перевозити вантажі та пасажирів. Головне завдання – забезпечення безпеки, тому всі інші критерії мають другорядне значення. Вищі пріоритети має забезпечення надійності тих вузлів і деталей, які безпосередньо впливають на безпеку руху. Всі вищенаведені оцінки повинні розглядатися з цієї точки зору. Якщо яка-небудь технологічна процедура знижує безпеку руху, то вона не розглядається. Політика технічного оснащення депо засобами контролю та діагностики повинна будуватися так, щоб в насамперед вводилися засоби контролю і діагностики на ці вузли. Це як мінімум колісні пари, буксові вузли, автозчеплення, гальмівне обладнання.

Слід зазначити, що в даний час існують індикатори у вигляді досить складних електронних комплексів. Засоби самодіагностування – пристрої, що вбудовуються в діючі агрегати і оперативно повідомляють про стан контрольованого агрегату. Засоби самодіагностування найбільш доцільні для активних одиниць рухомого складу. До них, зокрема, можна віднести датчики температури масла або тиску в гальмівній магістралі. Сучасні технічні засоби дозволяють реалізовувати досить складні алгоритми діагностики та самоконтролю. Мобільні діагностичні системи можуть виконувати ряд функцій, в тому числі складні комплексні алгоритми діагностики. Сучасні системи часто реалізуються на платформах персональних комп'ютерів і мають модульне програмне забезпечення, яке може адаптуватися під об'єкт або розв'язувати задачу. Продуктивність і достовірність аналізу тут, як правило, високі. Випробувальні стенди - це, як правило, стаціонарне обладнання, яке спеціалізується, найчастіше, на випробуваннях одного типу пристроїв. В якості прикладів можна привести стенд для випробування паливної апаратури, реостатних випробувань, автогальмівного обладнання. Випробувальні

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

комплекси – стаціонарні системи, що здійснюють комплексний аналіз складних вузлів і агрегатів. Мають безліч різнорідних датчиків і зазвичай включають в себе комп'ютер високого класу. Кожне з перерахованих пристроїв може «накривати» велику частину діаграми несправностей, але може бути й вузькоспеціалізованим.

Основні кількісні показники роботи залізниць можна розбити на дві групи: внутрішні і зовнішні. При цьому до зовнішніх показників відносяться оцінки для користувачів. Сюди можна включити:

- час доставки вантажів (пасажирів), включаючи всі статистичні показники;
- вартість перевезень у розрахунку на тонну або одиницю вантажу (пасажира);
- якість перевезення.

Внутрішні показники потрібні для оцінки ефективності транспорту та порівняння роботи різних ділянок або доріг. До них відносять:

- обсяг перевезень в тонно-кілометрах за вказаний період (доба, тиждень, місяць, квартал, рік);
- витрати на перевезення у перерахунку на тонну вантажу;
- рентабельність перевезень;
- коефіцієнт нерівномірності руху за часом або відстанню;
- максимально допустимі обсяги перевезень і коефіцієнти завантаженості (відношення реальних обсягів перевезень до граничних);
- середні технічні швидкості і коефіцієнти запасу по швидкості (відношення середньотехнічну швидкості до допустимої).

Можна навести й інші показники якості роботи залізничного транспорту, але наведені вище є основними. При цьому надійність транспортних одиниць впливає на всі перераховані показники. Низька надійність рухомого складу призводить до негативних наслідків. Перш за все – зростання аварій на шляху прямування. При цьому збільшуються простой поїздів, а в ряді випадків –

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

псування вантажу. Специфікою залізниць є те, що зупинка будь-якого поїзда на шляху прямування (несправність або інші причини) призводить до зупинок всіх наступних за ним складів, що ще більше погіршує наслідки недостатньої надійності. Збільшення кількості позапланових ремонтів тягне за собою час непродуктивних простоїв техніки. У першому випадку погіршуються характеристики того чи іншого вузла, поступово знижують якість всього пристрою (зниження потужності, збільшення витрати енергії, зниження швидкості і т.д.).

У другому випадку несправності одного вузла (елементу) викликають несправності пов'язаних з ним вузлів. Зниження інтервалів між поточними плановими видами ремонту та підвищення ступеня їх складності, в свою чергу, збільшують непродуктивні простой рухомих одиниць. Збільшення витрат на ремонт (комплектуючі вироби, трудовитрати), на зміст ремонтного персоналу, збільшення витрат тягово-енергетичних ресурсів також знижують показники якості.

Наведений перелік наслідків показує важливість підвищення надійності рухомого складу. Він далеко не повний, так як не враховує окремих випадків (ступінь несправності і її вплив на рух, ремонтпридатність відмови вузлів, якість ремонту і т.д.). Кожна одиниця рухомого складу за час існування може перебувати в чотирьох станах: безпосередня робота, непродуктивний простий і пробіг, вантажно-розвантажувальні роботи (вантажні вагони) і ремонт. Якщо об'єднати два стани, простий і навантаження-розвантаження, то існує три основних стани. Накопичена по мережі шляхів статистика свідчить про наступне. Вантажні вагони 30...40 % від загального часу використання перебувають під завантаженням (вивантаженням), включаючи очікування, 30...45 % (залежно від типу) беруть участь у перевезеннях і 25...35 % знаходяться в ремонті. Локомотиви безпосередньо в роботі знаходяться 35...50% від загального часу, простоюють 15...25 % і ремонтуються 25...40 % від усього ресурсу. Великий розкид даних пов'язаний з різними умовами

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

експлуатації, строком служби та типами одиниць. Існує кілька способів підвищення ефективності залізничного транспорту:

- підвищення технічної швидкості поїздів;
- зниження часу навантажувально-розвантажувальних робіт;
- зменшення частки непродуктивних простоїв;
- підвищення якості ремонту;
- збільшення продуктивності ремонтних підприємств.

Серед перерахованих факторів час під завантаженням (вивантаженням) або непродуктивність простою багато в чому не залежать від залізничних служб, тому мають ключові ролі в підвищенні ефективності перевезень. Збільшення технічної швидкості дає порівняно невеликий вигреш. Це твердження легко довести на прикладі. Припустимо, при незмінних інших факторах, що характеризують ділянку шляху і рухомого складу, технічна швидкість зросла на 10 % (пропорційно знизився час у шляху). Тоді частка часу продуктивної роботи знижується з 33% до 31%, але зниження це незначне. Якщо ж знизити час знаходження в ремонті або збільшити час між ремонтами (шляхом підвищення якості), то ефективність використання транспорту суттєво зростає. Додамо до цього, що підвищення швидкості вимагає серйозних капіталовкладень, перевищують витрати на підвищення якості ремонту. Одним із шляхів підвищення надійності рухомих одиниць є своєчасне виявлення несправностей, що розвиваються та їх профілактика. Це можливо з використанням діагностування - в сукупності прийомів, технічних засобів і заходів, що дозволяють підтвердити справність обладнання, а в випадку несправності – виявити (локалізувати) причину. Діагностування може проводитися різними способами, але найбільш ефективно воно з використанням спеціальних технічних засобів. Переваги технічних засобів діагностування полягають в наступному:

- підвищується продуктивність профілактичних робіт, отже, знижується частка непродуктивних простоїв;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- збільшується об'єктивність оцінки, особливо при накопиченні досвіду (складанні образів несправностей);

- з'являється можливість реєстрації в цифровій формі параметрів стану пересувних одиниць (електронна паспортизація).

У зв'язку з використанням технічних засобів діагностування з'являються наступні завдання:

- визначення точок (елементів, параметрів) пристрої, що забезпечують найвищу імовірність (достовірність) оцінки справності пристрою;

- складання алгоритмів діагностування, що забезпечують найвищу продуктивність перевірки при заданій імовірності помилки або найвищу достовірність при заданому часу (двоїста задача);

- накопичення досвіду, створення адаптивних алгоритмів діагностування і критеріїв оцінювання;

- розробка технічних засобів, в найкращій мірі відповідають наведеним вище задачам.

Відомо, що основа надійності локомотивів та їх окремих вузлів закладається при їх проектуванні і конструктивному виконанні. Однак не менш важливим і в той же час найскладнішим є забезпечення надійності в процесі експлуатації. Але можливості підвищення надійності в цей період найбільш обмежені. З метою своєчасного виявлення, усунення та попередження можливих ушкоджень Правилами деповського ремонту передбачається систематична перевірка обладнання локомотивів при планових оглядах і ремонтах.

В процесі експлуатації з'являються порушення в вузлах чи елементах, які на момент технічного обслуговування або ремонту не привели до відмови пристрою, але в міру їх розвитку відмова стає неминучою. У процесі технічного обслуговування і ремонту такі порушення можуть бути не виявлені, перш за все, через недосконалість існуючих засобів контролю, через нестачу часу, під впливом суб'єктивних чинників виконавців і т.д. Як результат, в роботі

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

локомотивів має місце значна кількість пошкоджень. Розподіл несправностей (у відсотках від їх загальної кількості) в залежності від видів устаткування наведено на діаграмі рисунку 1.2 і в таблиці 1.1, з причин їх виникнення – в таблиці 1.2.

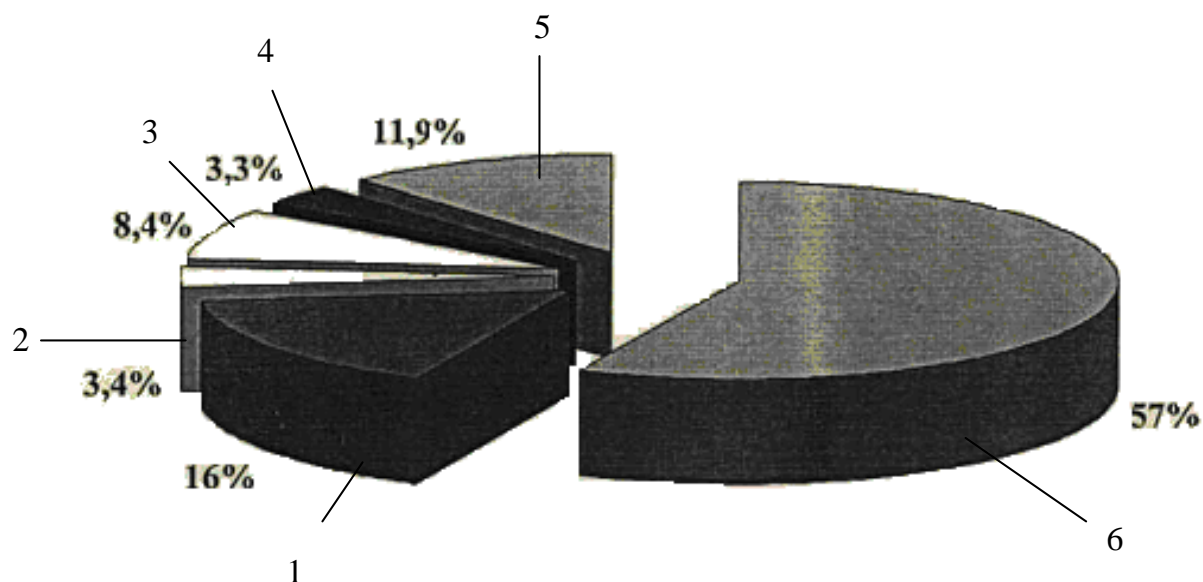


Рисунок 1.2 – Розподіл загальної кількості несправностей за видами обладнання:

1 - тягові двигуни; 2 - допоміжні машини; 3 - колісні пари з буксами;
4 - прилади безпеки; 5 - інше обладнання; 6 - електрообладнання

Таблиця 1.1 – Розподіл несправностей за видами обладнання

Вид обладнання	Розподіл несправностей, %
Електрообладнання	57,0
Тягові двигуни	16,0
Допоміжні машини	3,4
Колісні пари з буксами	8,4
Прилади безпеки	3,3
Інше обладнання	11,9

Таблиця 1.2 – Розподіл несправностей за причинами виникнення

Причини несправностей	Розподіл несправностей, %
Незадовільна якість деповського ремонту та ТО	57,3
Незадовільний нагляд за електровозом локомотивних бригад	27,7
Незадовільна якість заводського ремонту	13,8
Інші причини	1,2

Наведені дані показують, що основною причиною пошкоджень локомотивів на лінії є неякісний ремонт в депо, причому рівень пошкоджень в середньому постійний. Причиною ж неякісного ремонту поряд з іншими факторами може бути і неякісне діагностування. Під неякісним діагностуванням в даному випадку розуміється низька достовірність та недостатній обсяг (повнота охоплення). Необхідно відзначити наявність значної кількості відмов, що виникають через незадовільний догляд за електровозом з боку локомотивних бригад. Це так само може бути наслідком недостатньої кількості бортових або мобільних діагностичних систем або їх недосконалості. Ці дані є одним з аргументів на користь розвитку системи діагностування.

Найменш надійні в експлуатації електричні апарати і тягові двигуни, на частку яких припадає 60 % усіх порч електровозів. При цьому близько 60 % псувань електричної апаратури і більше 40 % псувань тягових двигунів викликано неякісним заводським або деповським ремонтом. Статистичний аналіз показує, що на перших 5 тис. км пробігу після ремонту відбувається більше число відмов обладнання з-за неякісного ремонту і йде приробка апаратури. Незважаючи на різний обсяг робіт, що виконуються на деповських

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

планових видах оглядів і ремонтів по електричній апаратурі електровозів, можна виділити найбільш характерні види пошкоджень, які усуваються на всіх видах оглядів і ремонтів. Аналіз даних показує, що на всіх видах оглядів і ремонтів виконується одна і та ж робота з усунення досить визначеного переліку явно виражених несправностей устаткування, що вже призвели до його відмови. У процесі технічного обслуговування і ремонту обладнання стоїть завдання не тільки встановлення факту відмови, але і його прогнозування. У всіх фазах існування електричного обладнання електровозів відбувається повільна зміна технічних параметрів його вузлів і деталей, що викликається впливом ряду факторів – у першу чергу старіння та зносу. Накопичення системою порушень технічних параметрів є процесом руху до стану відмови. Довготривалі відмови, зумовлені зношуванням, старінням або розрегулюванням виробів, що призводять до зміни параметрів і виходу їх показників за межі технічних вимог, можна прогнозувати, якщо встановити контроль зміни характеристик виробу. У зв'язку з чим, для попередження відмов обладнання необхідні чітко визначені характеристики його параметрів та їх критичні значення, які в даний час досліджені недостатньо. Для прогнозування та виявлення таких ушкоджень, як міжвиткове замикання в обмотках магнітоелектричних механізмів, порушення регулювання електроапаратури, неприпустимо високі перехідні опори в блокуваннях і контактах, потрібна якісна і кількісна оцінка перевіряється об'єкта.

З іншого боку, для контролю працездатності електрорухомого складу виникає необхідність підтвердження нормального функціонування всіх його елементів. Рішення даної проблеми ускладнюється необхідністю проведення значних обсягів і кількості контрольних операцій. Ці вимоги при наявних в розпорядженні підприємств, що експлуатують електрорухомий склад, засоби й методи контролю, не можуть бути якісно виконані, так як вимагають суттєвих тимчасових витрат при обмеженому простої електровоза на планових видах

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

технічного обслуговування і поточного ремонту та необхідного більш точного контролю.

Скорочення часу контролю технічного стану об'єкта діагностування та отримання надійних результатів при перевірочних операціях можливо тільки при використанні сучасних засобів технічного діагностування. З точки зору конструкції електричної (електронної) апаратури, важливо вміти визначити стан окремих її елементів та всієї апаратури в цілому на всіх етапах її експлуатації. Це пояснюється досить великим розкидом параметрів, характеризують пошкодження обладнання електрорухомого складу по пробігу. Значною мірою це визначається невідповідністю академічних законів зносу окремих видів обладнання міжремонтний пробіг. Дійсно, електричні апарати електрорухомого складу, володіючи різною надійністю при проектуванні і виготовленні, не однаковою мірою піддаються фактичному експлуатаційного зносу і старіння. Інтенсивність зносу і старіння, а також порушення регулювань вузлів і пристроїв суттєво визначаються навантажувальними режимами.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Обґрунтування та аналіз технічної діагностики рухомого складу

Надійність функціонування залізничного транспорту (функціональна надійність) в значній мірі залежить від надійності рухомого складу. Для вирішення завдань підвищення надійності необхідно здійснити наступну послідовність дій:

- аналіз ситуації, розчленування загальної задачі на складові (декомпозиція) і пошук найбільш відповідальних (уразливих) місць (раніше це було названо критичними вузлами);
- розробка методології аналізу та відповідного математичного апарату;
- моделювання стану техніки і рішення прикладних задач на моделях;
- розробка і дослідження методик, обладнання і технологій контролю, діагностування і супутніх їм технологій, що забезпечують підвищення надійності;
- аналіз ефективності прийнятих рішень і технологій та їх коригування.

Терміни та визначення технічної діагностики

Технічна діагностика – область знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єкта. Причинами переходу об'єкта з одного стану в інший є дефекти.

Дефект – кожна окрема невідповідність продукції встановленим вимогам. Визначення технічного стану об'єкта називається технічним діагностуванням. Таким чином, технічне діагностування – процес визначення виду технічного стану об'єкта з діагностичним параметрам.

Діагностичний параметр – параметр об'єкта, який використовується при його діагностуванні. Завданнями технічного діагностування є:

- контроль технічного стану;
- пошук місця відмови (пошкодження);
- визначення причини відмови (пошкодження);
- прогнозування технічного стану.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Контроль технічного стану – перевірка відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації та визначення на цій основі одного із заданих видів технічного стану в даний момент часу. Термін «Технічне діагностування» застосовують в найменуваннях і визначеннях понять, коли вирішуються завдання технічного діагностування рівнозначні або основним завданням є пошук місця або визначення причин відмови (пошкодження). Термін «Контроль технічного стану» застосовується, коли основним завданням технічного діагностування є визначення виду технічного стану. Технічна діагностика в якості об'єктів дослідження має вироби, створені людиною, тобто технічні вироби. У цьому сенсі характеристики, норми і технологія виготовлення передбачаються відомими. При діагностуванні необхідно виявляти невідповідності окремих виробів існуючим еталонним зразкам. Технічні зразки можуть піддаватися повному або частковому розбиранню у випадках невизначеного діагнозу або необхідності уточнення його результатів (адаптивна діагностика). Розглянемо деякі визначення відповідно до дипломного проекту.

Об'єкт діагностування (ОД) – це продукт, який (або) його складові частини, підлягають діагностуванню. ОД піддається діагностуванню відповідно із заданим алгоритмом. Ступінь складності об'єкта не оговорюється, але передбачається, що він може представлятися у вигляді сукупності взаємопов'язаних (і взаємодіючих) вузлів (агрегатів).

Параметри діагностування (ПД) – параметри об'єкта, що використовуються при його діагностуванні (контролі). Станом сукупності фізичних величин ПД можна приймати рішення про стан об'єкта. Вибір параметрів є однією з головних задач організації діагностики. Вони повинні відповідати наступним вимогам:

- ефективна достатність: бажано вибрати таку мінімальну кількість параметрів, що забезпечує достовірність діагностики в межах допустимих параметрів;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- однозначність: необхідно, щоб той чи інший діагностичний параметр (або їх сукупність) давали б однозначний висновок про результати діагностування;
- роздільність: при будь-якому діагностичному визначенні бажано локалізувати несправний вузол (деталь).

Глибина діагностування (ГД) – ступінь локалізації несправності. Збільшення глибини дозволяє знижувати витрати на відновлення технічного пристрою. Глибина діагностування – одна з головних характеристик якості, разом з достовірністю.

Алгоритм діагностування (АД) – сукупність приписів, що визначають послідовність дій при проведенні діагностування (контролю). При відомій структурі діагностичного пристрою алгоритм є найважливішим атрибутом технічної діагностики. До нього пред'являються такі вимоги:

- достовірність: оцінка наявності або відсутності несправностей та місць їх розташування (локалізації) з ймовірністю помилки, що не перевищує заданий поріг;
- кінцівка: при заданій достовірності діагностичний експеримент повинен мати якомога меншу кількість кроків (тобто як можна менший час);
- локалізуємість: забезпечення заданої глибини діагностування при заданій достовірності.

Діагностичний комплекс (ДК) (система) – сукупність технічних засобів, що забезпечують проведення діагностичних експериментів. Узагальнена структура діагностичного комплексу наведена на рисунку 2.1, на якому мають місце такі позначення: ОД – об'єкт діагностування; D_1, \dots, D_k – датчики інформативних параметрів; $НП_1, \dots, НП_k$ – нормуючі перетворювачі; МП – мультиплексор; АЦП – аналогоцифровий перетворювач; СК – спеціалізований контролер; ЗВ – засоби відображення діагностичної інформації; ЗР – засоби реєстрації підсумків діагностування; ІС – інформаційна система; ОП – операторський пульт. Сукупність діагностичних параметрів перетворюється датчиками в форму, зручну для подальшого перетворення. Отримані в

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результаті фізичні величини (в даний час найчастіше електричного характеру) нормуються в пристроях $НП_1, \dots, НП_k$, тобто приводяться в уніфіковану форму. Після чого ці величини мультиплекуються (тобто по черзі підключаються), і в АЦП перетворюються в цифрові коди.

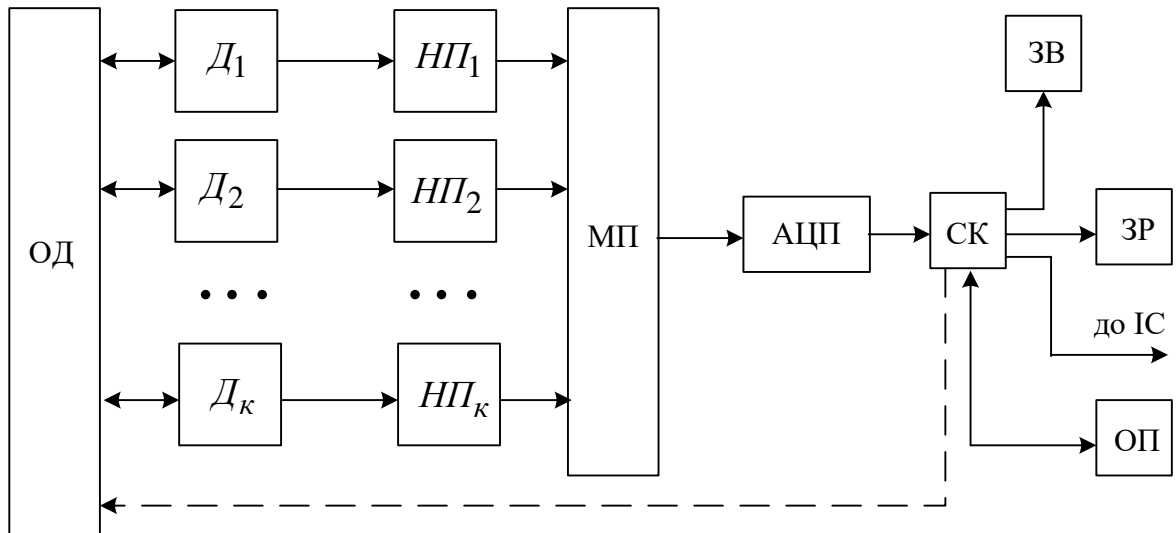


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема діагностичного комплексу

Подальша процедура діагностування проводиться в спеціалізованому контролері. У ряді випадків функції СК виконує комп'ютер, що здешевлює весь комплекс. СК працює відповідно до алгоритму діагностування результати подаються на засоби відображення та реєстрації (документування). Робота комплексу здійснюється при його взаємодії з оператором. Останній розміщує датчики на об'єкті, проводить тестування (перевірку працездатності здібності комплексу), запускає і відстежує діагностичну перевірку (експеримент). Оператор грає провідну роль у процедурі діагностування, оскільки йому дається можливість за допомогою ОП втручатися в експеримент на будь-якій його стадії, відстежувати проходження інформації та документування. В кінцевому рахунку, саме оператор несе відповідальність за результати діагностування та їх достовірність. У ряді випадків оператори можуть змінювати алгоритми діагностування, критерії працездатності і т.д.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зворотній зв'язок від засобів реєстрації до об'єкта діагностування (штрихова лінія) передбачає прийняття рішень за результатами оперативного діагностування. Такий режим роботи системи діагностування називається адаптивним і може полягати в наступному:

- змінюються деякі константи (наприклад, параметри порівняння);
- змінюються алгоритми випробування;
- змінюються кількість, номенклатура і місця установки датчиків.

Образ несправності (ОН) – сукупність діагностичних параметрів, що дозволяють визначити ступінь придатності ОД до подальшої роботи. У найпростішому випадку ОН являє собою комплекс констант (граничних значень ПД), дозволяють прийняти адекватне і обґрунтоване рішення про ступінь придатності об'єкта, що діагностується до подальшої експлуатації. Граничні значення залежать від безлічі факторів, що впливають, в тій чи іншій мірі відображають реальну ситуацію на конкретному об'єкті. В якості прикладу можна привести оперативну ситуацію локомотивного депо. До депо приписаний парк експлуатованих локомотивів. З них частина бере участь в перевезеннях, інша частина – знаходиться в ремонті, в тому числі за межами дільниці обслуговування, третя – в резерві. Керівник повинен приймати рішення про виділення локомотивів для забезпечення графіка перевезень. Якщо наявного парку недостатньо для вирішення поставленого завдання, він об'єктивно зацікавлений у зміні існуючих граничних значень для прийняття рішення про придатність. З іншого боку, існує певний досвід обслуговуючого персоналу, який дозволяє приймати рішення про можливість використання рухомої одиниці для перевізного процесу. Обидві перераховані оцінки суттєво впливають на конкретну конфігурацію образу несправності ОН. Дуже велике значення ОН має при реалізації автоматизованих діагностичних комплексів ДК. Рекомендовані розробниками і виробниками порогові значення можуть не відповідати реальним умовам експлуатації залізничної техніки в місці конкретного використання комплексів. З'являються дві альтернативні ситуації:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

об'єкти, що діагностуються зайво часто відправляються в ремонт або частішає кількість відмов на шляху прямування. Кваліфікований оператор-діагност повинен мати можливість налаштовувати образ несправності ОН в допустимих для нього межах. Частіше це зводиться до регулювання порогів граничних значень в межах $\pm 15\%$ від штатного значення. Таким чином, ОН повинен мати можливість адаптації до конкретних умов експлуатації та обслуговування. Найбільш ефективним може бути ведення електронних паспортів (ЕП) (журналів), в яких фіксуються дані по конкретним об'єктам, що діагностуються. Ведення ЕП дозволяє, крім іншого, аналізувати динаміку розвитку дефектів, прогнозувати їх появу і розвиток, формувати спеціалізовані бази даних, вводити адаптацію по несправностях і місць використання діагностичних комплексів і т.д.

2.1 Критерії вибору діагностичного комплексу

Вибір комплексу діагностування необхідно виконувати, враховуючи особливості об'єкта діагностування. При цьому можна керуватися наступними критеріями.

Вид контрольованих діагностичних параметрів. Діагностичні комплекси в залежності від типів датчиків можуть бути гомогенними (якщо датчики однотипні і фіксують однакові фізичні величини) і гетерогенними (проводять вимірювання різних типів величин і з різними датчиками).

Кількість датчиків та способи їх використання. Можливі одно- і багатоканальні комплекси. У одноканальних комплексах найбільш часто реалізується принцип поділу випробувань за часом: датчик переноситься на різні точки діагностуемого об'єкта. Така реалізація більш дешева і проста, але діагностичні експерименти більш тривалі і менш точні.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип опитування датчиків: послідовний або одночасний. Послідовне опитування вимагає більш потужних ресурсів по продуктивності, але апаратно менше надмірний.

Наявність взаємозалежності несправностей, що діагностуються: чиста або комбінована діагностика. У першому варіанті несправності однозначно оцінюються по одному або декільком датчикам, у другому необхідно враховувати вплив однієї несправності на показання інших каналів або ймовірності оцінок.

Наявність еталонних зразків несправностей. Під зразком можна розуміти комбінований пристрій із заданою несправністю або сукупність відповідних числових оцінок. Еталон набагато може підвищити достовірність результатів або скоротити час випробувань.

Періодичність діагностичних випробувань. В залежності від часу можливі три типи випробувань: періодичні (за графіком), за поточним станом та по результатам. Останній тип відноситься до області генетичних досліджень (випробувань за результатами аварій) і зі зрозумілих причин небажаний. Періодичні випробування пов'язані з графіками обслуговування і ремонту рухомого складу (ТО, ПР, КР) і повинні вписуватися в інструкції. Концепція ремонту технічного стану за результатами випробувань була розроблена в 80-і рр. з урахуванням можливостей контролю. В даний час з'являються передумови для її реалізації. Документування результатів перевірок та взаємоув'язка документів. Документування має переслідувати наступні цілі:

- оперативне відстеження поточного стану рухомого складу;
- можливість планування ремонтів із забезпеченням комплектуючими виробами;
- оформлення статистичної звітності за встановленою формою;
- накопичення та поширення досвіду експлуатації і ремонту.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виконання цих вимог засоби контролю і діагностування повинні мати можливість формування електронних документів (електронний паспорт, ЕП). Сукупність ЕП може утворювати спеціалізовані бази даних, вирішальні поставлені завдання.

2.2 Ефективність діагностування

Достовірність діагностування – ступінь об'єктивного відповідності результатів діагностування дійсному технічному стану об'єкта. Вона може оцінюватися ймовірністю правильного діагнозу або помилкою. Для такої оцінки використовується діаграма результатів діагностування, наведена на рисунку 2.2.

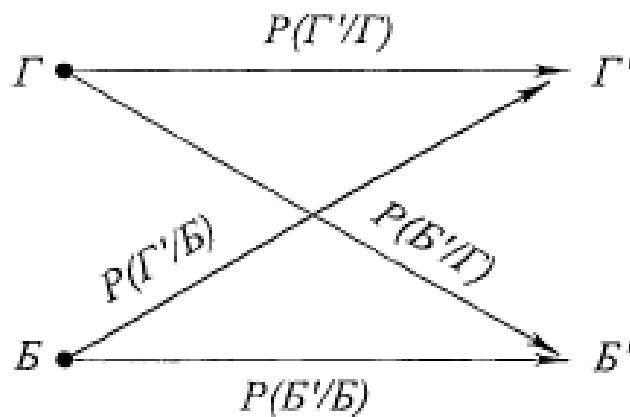


Рисунок 2.2 – Діаграма результатів діагностування

Тут позначено: Г, Б – початковий стан об'єкта, що діагностується (відповідно справний або несправний), Г', Б' – висновок про його стан після діагностичного експерименту. Як видно з діаграми, можливі чотири типи рішення:

- початково (апріорно) справний об'єкт після випробувань визнається справним з ймовірністю $P(G'/G)$;
- апріорно несправний об'єкт після випробувань підтверджує свій стан з ймовірністю $P(B'/B)$;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- справний об'єкт після експериментів помилково визнається несправним з імовірністю $P(B'/\Gamma)$.
- несправний об'єкт після експериментів помилково визнається справним з імовірністю $P(\Gamma'/B)$.

Перші два рішення правильні, інші два – помилки. За аналогією з теорією зв'язку рішення про справність об'єкта при його фактичній несправності назвемо помилкою I роду

$$P_I = P(\Gamma'/B) \quad (2.1)$$

Рішення протилежного характеру назвемо помилкою II роду

$$P_{II} = P(B'/\Gamma) \quad (2.2)$$

Стан «справний - несправний» утворює повну групу подій

$$P(\Gamma) + P(B) = 1 \quad (2.3)$$

Аналогічно справедливі і наступні співвідношення

$$P(\Gamma'/\Gamma) + P(B'/\Gamma) = P(\Gamma) \quad (2.4)$$

$$P(B'/B) + P(\Gamma'/B) = P(B) \quad (2.5)$$

$$P(\Gamma'/\Gamma) + P(\Gamma'/B) = P(\Gamma') \quad (2.6)$$

$$P(B'/B) + P(B'/\Gamma) = P(B') \quad (2.7)$$

Виходячи з цих співвідношень, можна описати математичне сподівання діагностичного експерименту щодо об'єкта у вигляді

$$P_D = [P(\Gamma'/\Gamma) + P(B'/\Gamma)] \cdot P(\Gamma) + [P(B'/B) + P(\Gamma'/B)] \cdot P(B) \quad (2.8)$$

Те ж щодо результатів діагностування

$$P'_D = [P(\Gamma'/\Gamma) + P(\Gamma'/B)] \cdot P(\Gamma') + [P(B'/B) + P(B'/\Gamma)] \cdot P(B') \quad (2.9)$$

При відсутності помилок вирази (2.4)...(2.9) перетворюються до вигляду

$$\begin{aligned} P(\Gamma'/\Gamma) &= P(\Gamma) = P(\Gamma'), \\ P(B'/B) + P(B) &= P(B'), \\ P_D = P'_D &= P(\Gamma) + P(B) = 1 \end{aligned} \quad (2.10)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Останній вираз в (2.10) означає, що діагностичний експеримент абсолютно достовірний і адекватно відображає стан об'єкта. Надалі оцінки достовірності результатів діагностування будуть розглянуті більш докладно. Час діагностування T_D – це час, необхідний для підготовки, проведення та оцінки діагностичного експерименту (останнє називається також часом прийняття рішення). З практичної точки зору бажано по можливості зменшити цей час.

Основні чинники, що визначають інтервали часу проведення діагностування різні, різні. Так, час підготовки T_n залежить від організаційно-технічних причин (кваліфікація персоналу, місця розміщення датчиків, спосіб підготовки об'єкта до випробувань і т.д.), а час експерименту T_e – від типу алгоритму і досконалості діагностичної апаратури.

Мінімізувати загальний час T_D можна незалежно по обох напрямкам. Мінімізація T_n досягається комплексом організаційних і технічних заходів. Вона вирішується на основі наявної діагностичної техніки, тобто вторинна.

Витрати на діагностування. Їх можна розділити на умовно постійні і умовно змінні. До перших відносяться витрати на придбання діагностичного обладнання і вартість навчання персоналу. Умовно змінні витрати – вартість простою техніки на час діагностування і витрати на саме діагностування (оплата персоналу, вартість енергії, амортизація приміщень і т.д.).

Головний критерій економічної ефективності діагностування – перевищення позитивного економічного ефекту над витратами.

Вираз

$$\frac{\alpha - \beta}{V_D} T_n > 1 \quad (2.11)$$

де α - коефіцієнт ефективності;

β - коефіцієнт витрат;

V_D - витрати на діагностування;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T_n - нормативний час (3...5 років).

можна вважати остаточною оцінкою (критерієм) економічної ефективності. На його основі можна сформулювати основні способи збільшення ефективності діагностування.

Зниження вартості діагностичного обладнання. Воно можливе в першу чергу при переході на масове виробництво, цього обладнання. Крім того, цього можна досягти іншими формами оплати, наприклад, шляхом надання послуг, передачі частини акцій, участі в прибутку і т.д.

Збільшення активної частини, тобто коефіцієнта α . Воно можливе наступними шляхами:

- максимальне охоплення діагностуванням вузлів і деталей. Це знижує аварійність і, відповідно, час простою рухомого складу в ремонті і особливо в експлуатації;
- збільшення глибини діагностування, що скорочує час ремонту, тобто непродуктивні простої;

Зниження пасивної частини, тобто коефіцієнта витрат β досягається:

- підвищенням продуктивності діагностування;
- збільшенням глибини діагностування.

З розглянутих показників оцінки діагностування найбільш суттєвим є достовірність результатів. Це обумовлено тим, що залізничний транспорт є системою конвеєрного типу: несправність будь якої рухомої одиниці під час руху може привести до зупинки як поїзда, в якому вона знаходиться, так і поїздів, що йдуть слідом. Це характерна ознака конвеєрної системи. Тому вплив несправностей (отже, якості ремонту, експлуатації та діагностування) багаторазово зростає.

2.3 Критерії оцінки алгоритмів діагностування

Базова операція технічного діагностування – оцінка значення діагностичного параметра. Припустимо, параметр x повинен мати номінальне

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

значення x_i , закладене в технічних характеристиках діагностуємого об'єкта. Крім номінального значення задається поле допуску Δx у вигляді мінімального x_{\min} і максимального x_{\max} значень $x_{\max} - x_{\min} = \Delta x$. Алгоритм оцінки досить простий: якщо x знаходиться в межах поля допуску, об'єкт вважається справним Γ , якщо поза – несправним B . У термінах алгебри множин це описується в формі

$$\begin{aligned} x \in \Delta x &: \Gamma; \\ x \notin \Delta x &: B \end{aligned} \quad (2.12)$$

де \in, \notin - символ приналежності, неналежності відповідно.

Графічно алгоритм цієї операції представлений на рисунку 2.3.

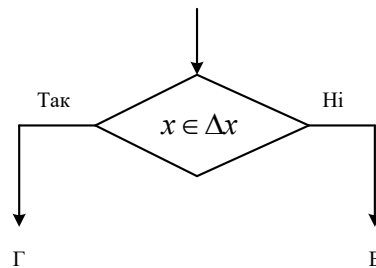


Рисунок 2.3 – Алгоритм оцінки значення діагностичного параметра

При такому алгоритмі можливе виникнення помилок. Для їх оцінки представимо діагностичний параметр x як випадкову величину, описувану густиною розподілу ймовірності $P(x)$. При цьому необхідно розглядати дві щільності розподілу: для справного стану $P_{\Gamma}(x)$ і несправного стану $P_B(x)$. Ці розподілу можуть мати вигляд, представлений на рис. 2.4.

Результуюче розподіл набуває вигляду $P_{\text{сум}}(x)$.

При справному об'єкті і межах $(x_{\max}; x_{\min})$ вірогідність правильного рішення $P(\Gamma'/\Gamma)$ визначається інтегралом від щільності розподілу в обраних межах (вираз 2.13).

$$P(\Gamma'/\Gamma) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} P_{\Gamma}(x) dx \quad (2.13)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Помилка в прийнятті рішень визначається першими двома складовими в (2.14): в розподілі частиною, що відкидається, яка не входить в діапазон Δx і частиною ймовірності від розподілу $P_B(x)$

$$P_{II} = P(B'/\Gamma) = \int_{-\infty}^{x_{\min}} P_{\Gamma}(x)dx + \int_{x_{\max}}^{\infty} P_{\Gamma}(x)dx + \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} P_B(x)dx \quad (2.14)$$

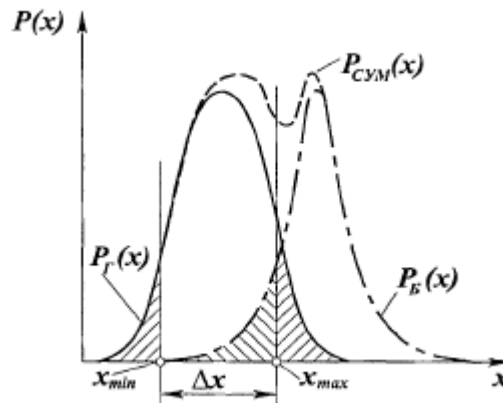


Рисунок 2.4 – Розподіл параметра x , бінарне рішення

Тут кожен з інтегралів відповідає одній з заштрихованих областей (рис. 2.4).

Помилка I роду, тобто $P(\Gamma'/B)$ оцінюється лише третім інтегралом з (2.14)

$$P_I = P(\Gamma'/B) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} P_B(x)dx \quad (2.15)$$

Навіть із загального розгляду завдання, очевидно, що помилка залежить від видів розподілу параметрів $P_{\Gamma}(x)$ и $P_B(x)$, від співвідношення їх математичних сподівань і від ширини зони допуску Δx . При збільшенні різниці математичних очікувань $(m_B - m_{\Gamma})$ ймовірність помилки знижується. Розширення зони допуску Δx зменшує значення двох перших інтегралів у виразі (2.14), але збільшує третій член. Внаслідок цього, відповідно збільшується помилка першого роду P_I .

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, з виразів (2.14) і (2.15) випливає, що розв'язувана діагностична задача несиметрична, тобто в будь-якому випадку виконується умова $P_{II} > P_I$. В принципі, враховуючи переважну різницю між P_{II} и P_I для транспорту, це особливого значення не має.

Класифікатор алгоритмів діагностування включає в себе такі рівні.

Спосіб оцінювання: бінарний або тернарний.

Кількість каналів: одноканальні та багатоканальні алгоритми. Різниця між цими алгоритмами суттєва, тому що стосується і апаратної реалізації. Як правило, одноканальні прилади відносяться до класу індикаторів: оператор встановлює датчик в певному місці, отримує повідомлення «норма - не норма», після чого переставляє датчик на наступну позицію і т.д. В кінцевому підсумку рішення приймає сам оператор. Типи рішень, які може приймати оператор:

По першому негативному рішенню. Якщо хоча б один з параметрів, що вимірюються знаходиться за межами допуску, весь виріб відправляється в ремонт. Таке рішення найбільш жорстке і збільшує ймовірність помилки II роду. Практично воно означає, що дуже велика кількість об'єктів буде відправлятися в ремонт.

За сукупністю рішень. Після повного обстеження об'єкта та отримання сукупності даних, оператор повинен приймати остаточне рішення про технічний стан об'єкта діагностування. Такий критерій може привести до зростання помилки I роду (пропуск несправних об'єктів). Крім того, з'являється жорстка залежність від кваліфікації діагноста та інших суб'єктивних факторів (наприклад, діагност несе відповідальність за випуск несправних локомотивів в експлуатацію, він зацікавлений в перестраховки і буде бракувати придатні локомотиви).

За груповою ознакою. Ряд значень діагностичних параметрів може вважатися критичним і по ним приймається рішення; інші значення менш значущі, тому для них використовується більш м'яке рішення. Такий поділ підвищує якість контролю і знижує обидва типи ймовірностей помилок. Тим не

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

менш, одноканальні алгоритми та відповідні технічні засоби носять оцінний характер і можуть використовуватися в місцях тимчасової зупинки поїздів.

Багатоканальні діагностичні комплекси мають ряд переваг:

- підвищення продуктивності діагностування;
- збільшення вірогідності;
- зниження суб'єктивного фактора.

Час установки декількох датчиків (замість одного) порівняно з часом перевстановлення одиничного датчика.

На першому підрівні виділені три компоненти за способом опитування: послідовний, паралельний, комбінований.

Послідовне опитування передбачає почергове підключення датчиків. Це найпростіший комутаційний алгоритм, який має певну надмірність.

Паралельне опитування – це одночасне зчитування інформації з усіх датчиків. Він передбачає апаратну надмірність і може забезпечити найбільшою швидкістю. Для більшості діагностованих об'єктів це не актуально через їх інерційність.

Комбіноване опитування – компроміс між послідовним і паралельним опитуваннями. В цьому режимі виділяють найбільш значущі параметри (або ті, що найбільш швидко змінюються), а опитування організують так, щоб параметри вищого пріоритету комутувалися частіше. Наступний рівень ієрархії – режим організації опитування, пов'язаний з тимчасовими характеристиками мультиплексування. Найпростіший режим мультиплексування – регулярний: канали перемикаються з однаковою частотою. При груповому режимі комутації частина каналів перемикається частіше. Нарешті, при стохастичному методі реалізується або випадкова за часом, або випадкова по номером каналу комутація. В даний час найчастіше реалізується регулярна послідовність мультиплексування, що призводить до помітної алгоритмічної надмірності діагностичних комплексів. До описаного класифікаційною рівню примикає дуже важлива складова - *метод оцінювання*. Виділено три методи оцінювання.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прямий метод зводиться до того, що кожен канал оцінюється незалежно від інших, і по ньому приймається один із способів оцінювання (бінарний або тернарний). Це жорсткий метод оцінювання, які завищують ймовірність помилки II роду.

Непрямий метод полягає в тому, що прямі вимірювання розглядуваного параметра неможливі, тому судять про нього за результатами вимірювання непрямих величин. Приклад непрямих методів – вібродіагностика: дефекти деталей визначаються по амплітуді вібрацій, а місця (види) дефектів – по їх частотному діапазону. Непрямі методи використовуються в основному внаслідок недоступності прямих вимірювань (відсутній датчик вимірюваної фізичної величини або місце його можливого встановлення недоступно).

При *сукупному методі* заміряється безліч L параметрів об'єкта, за ним приймаються рішення з інших, що не вимірюються K параметрів. За L параметрам визначається остаточний діагноз. Особливістю сукупного методу є те, що можливе використання ускладнених алгоритмів діагностування.

Рівень класифікації *вид рішення* підкреслює сутність задачі діагностування. Оперативні рішення відповідають оцінці діагностованого об'єкта в даний час (зараз): це і є власне діагностування. Прогностика спирається на поточні вимірювання діагностичних параметрів і їх передісторію. Останнє необхідно для екстраполяції зміни параметрів на найближче майбутнє за лінійним або нелінійним законам. Такі передбачення (прогнози) можуть виконуватися з певною ймовірністю, тому екстраполяційна залежність має вигляд зони допусків, причому зі збільшенням інтервалу передбачення зона розширюється (рис. 2.5). Тут позначено: t_0 - поточний час (до якого проводиться діагностування); t_b - базовий відлік, що фіксує одне з попередніх станів; t_n - час, на який складається прогноз. Видно, що зі збільшенням інтервалу прогнозу його невизначеність зростає.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

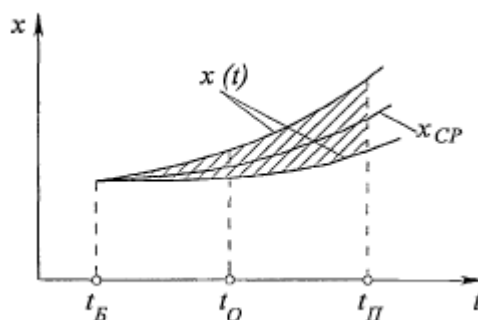


Рисунок 2.5 – Прогноз параметра

Наступний рівень класифікації, за наявності пам'яті, визначає рівень прийнятих рішень. У діагностичних системах без урахування досвіду вирішення приймаються за жорстко заданими межами допусків діагностичних параметрів. Такі рішення мають великі похибки. На практиці це призводить до не виправданого завищення ймовірності похибки II роду і підвищенням витрат на ремонт і технічне обслуговування та простій залізничної техніки.

Адаптивні алгоритми діагностування припускають наявність пам'яті (досвіду) за результатами попередніх випробувань. Тобто можливо накопичення двох видів досвіду: по групі об'єктів діагностування (як правило, одного типу, наприклад, електровози ВЛ80Р) та індивідуально за власними номерами об'єктів рухомого складу. Останнє більш переважно, оскільки кожний технічний виріб має свої індивідуальні характеристики, які розрізняються тим більше, чим складніше обладнання.

Останній рівень класифікації – по наявності *електронної документації*. Під електронною документацією розуміють набір відомостей про історію діагностованого об'єкту (рік випуску, проблеми, ремонти, супутні їм параметри технічного стану, якість і види ремонтів і т.д.), що зберігаються на електронному носії інформації. На даний час таких даних майже немає, тому використовуються алгоритми з жорсткими еталонами і відповідними бінарними рішеннями. Вони явно неефективні і потребують коригування. Наявність інформації про динаміку експлуатації та ремонту рухомого складу, особливо з прив'язкою до конкретних їх зразкам, економічно недоцільно і набагато перевищує витрати на створення таких баз даних.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стосовно до задачі діагностики можливі два радикально різних варіанту експериментів. У першому, простому випадку вирішується завдання типу «годен-брак». Другий варіант експерименту припускає локалізацію несправності до вузла (деталі). Відповідно експерименти першого типу повинні бути менше тривалими і менш витратними. Завдання локалізації несправностей більше тривалі і більш витратні через більшу кількість операцій і складне діагностичне обладнання.

Існує певна класифікація типів експериментів. Найбільш значний їх розподіл – за типами «пасивний-активний». При *пасивному експерименті* відбувається просте спостереження за об'єктом з реєстрацією його станів і з прийняттям рішення після досить довгого інтервалу спостереження. Як окремий випадок пасивного експерименту – випробування об'єкта в номінальному режимі. При *активному експерименті* з'являється можливість впливу на вхід об'єкта. Вплив може бути незалежним від об'єкта і оформленим заздалегідь у вигляді програми випробувань; це називається нерозгалуженим експериментом. При другому варіанті кожний наступний вплив залежить від результату попереднього: це розгалужений експеримент. Його довжина – найменша з можливих довжин експериментів. При постановці активного розгалуженого експерименту суттєво економиться час випробувань, особливо для активних одиниць. Під активними будемо розуміти рухомі одиниці, здатні виробляти силу тяги. Це локомотиви всіх видів, мотор-вагонні секції. При організації випробувань такого обладнання бажано використовувати такі особливі режими його роботи, які можуть знизити невизначеність діагностування.

2.4 Алгоритми технічного діагностування залізничного транспорту

Діагностування технічної системи (технічне діагностування) – це визначення технічного стану об'єкта, тобто перевірка здатності цієї системи виконувати задані функції. Часто зводять ТД до перевірки відповідності діагностичних параметрів об'єкта заданим значенням, в тому числі по інтервальному критерію.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більшість технічних систем за результатами діагностування можна назвати суттєво несиметричними, оскільки наслідки від помилкових рішень різні. Помилкове визнання несправного пристрою справним може в його подальшій експлуатації мати тяжкі наслідки, особливо для об'єктів транспорту (аварії, катастрофи та пов'язані з ними зупинки руху). Помилкове визнання придатного пристрою несправним може привести тільки до додаткових витрат на ремонт і повторні випробування.

Запропоновані алгоритми та методики діагностування можуть бути застосовані до системи управління станом рухомого складу. У ці системи входять оперативні стаціонарні та технологічні засоби технічного діагностування. На стаціонарному рівні можливо діагностування з різною глибиною і різним ступенем складності. Найбільш поширений активний експеримент зі штучно заданими вхідними впливами. При цьому можливі різні варіанти розглянутих алгоритмів.

Частіше використовується укорочений нерозгалужений діагностичний експеримент. Типи реалізацій безпосередньо пов'язані з видами ремонтів. Аналізу піддаються основні діагностичні параметри деталей (вузлів). Найпростіший варіант – прогін в номінальному режимі в заданий час. Контроль діагностичних параметрів полягає у перевірці відповідності їх паспортним (нормованим) даними після входу об'єкту діагностування в стаціонарний стан (прогрів). Можливий контроль параметрів динаміки стану за певний час випробувань.

Планування розгалуженого експерименту проводиться з використанням спрямованих графів. Зазвичай складні системи, до яких відноситься рухомий склад, розглядаються як композиція окремих незалежних складових. Можна, наприклад, виділити механічну частину (колісні пари, візки, буксові вузли, амортизатори, зчленування, корпусу, автозчеплення, кріплення, рухомі з'єднання), пневматична, гідравлічне та електричне обладнання. Кожна з цих складових має свої деталі, що відповідає таким рівням графа. В результаті граф приймає вигляд, зображений на рис. 2.6.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

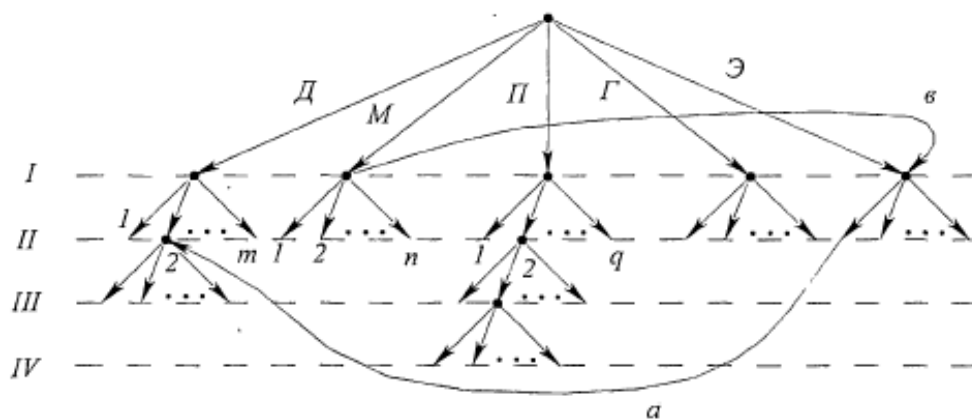


Рисунок 2.6 – Граф опису рухомої одиниці: Д, М, П, Г, Е - рушійна, механічна, пневматична, гідравлічна, електрична частини рухомої одиниці; I, II, III, IV – етапи діагностування

Первісна форма графа, як видно з рисунку, має форму дерева. В дійсності існують більш складні взаємодії виділених підсистем; це показано двома дугами *a* і *b*.

Як приклад можна привести систему електрозабезпечення електровоза (мотор-вагонної секції). Для подачі напруги на електрообладнання необхідно підняти пантограф до контактного проводу. Для цього в пневматичній системі існує спеціальний механізм підняття, що працює при певному тиску. При зниженні тиску включається компресорний вузол, що працює від бортових акумуляторів. При відсутності електропостачання силових агрегатів не працює мотор-компресор, що, в свою чергу, впливає на все пневматичне обладнання. У загальному випадку можна зробити наступні висновки:

- чим менше первинні витрати на діагностичне обладнання, тим швидше воно окупається;
- чим більше питома вартість простою, тим краще окупність;
- чим вище інтенсивність руху поїздів, тим більше ефективність діагностування.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

3 Моделювання надійності рухомого складу

Моделювання надійності включає різні методики математичного аналізу та способи інтерпретації результатів. Існує кілька типів моделей, розрізняються використовуваним апаратом, способами масштабування, аналізу результатів і типом реалізації. Зазвичай моделювання проводиться з цілями:

- економії часу аналізу, особливо з урахуванням варіацій рішення;
- заміни фізичного принципу на близьке з фізичної сутності;
- можливості використання цифрових алгоритмів і реалізації моделей на ЕОМ;
- неможливості натурних експериментів або їх високої вартості.

Наприклад, широко використовуваний метод зміни масштабу використовує коефіцієнти масштабування для переходу на модель (зміна розмірів, значень вхідних або вихідних параметрів, часу протікання процесів і т.д.). Метод аналогій використовує тотожність принципів дії і математичного опису різних фізичних об'єктів. Наприклад, за цим принципом працювали аналогові обчислювальні машини, які використали математичний апарат диференціальних рівнянь на основі електронних пристроїв, коли цей же апарат можна застосовувати для фізичних процесів різної природи (механічні динамічні системи, хімічні або ядерні процеси, поширення радіохвиль і т.д.).

Методи цифрового моделювання розвиваються найбільш інтенсивно в кількох напрямках і засновані на величезному ресурсі обчислювальної потужності сучасних комп'ютерів та обчислювальних мереж. Вони засновані на згаданих вище методах (масштабування, аналогії) і легко адаптуються під будь-які математичні методи аналізу. Існують пакети прикладних програм, що включають в себе моделювання на різних рівнях. Можна перерахувати декілька рівнів моделювання, що використовуються в сучасній практиці технічного (технологічного) проектування та застосованих в різних технологічних областях.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Математичне моделювання та його застосування. Найбільш динамічним в цій галузі є пакет MathCAD. Він найбільш адаптований під математичні програми моделювання та підтримується інтенсивністю застосування нових математичних методів. В якості прикладів математичних додатків наведемо окремі додатки MathCAD, використовувані, зокрема, в технічній діагностиці:

- статистичні дослідження та їх розвиток (найпростіша статистична обробка, статистичний та регресійний аналіз, кореляційний та регресійний аналіз, дисперсійний аналіз);

- дискретний спектральний аналіз та його застосування (швидке перетворення Фур'є, цифрова фільтрація);

- теоретико-числові перетворення та їх застосування;

- додаткові глави безперервної математики (наприклад, вейвлет - аналіз, приватні рішення диференціальних рівнянь в приватних похідних, завдання згладжування і фільтрації);

- спеціальні завдання дискретної математики (алгебра множин, булеві функції та їх застосування, графоаналітичні методи аналізу).

Інші системи комп'ютерного моделювання. Пакет MathCAD не вичерпує можливих застосувань комп'ютерного моделювання. Можна привести в якості прикладів пакети AutoCAD (в основному конструкторсько-технологічні програми), PCAD (конструювання та моделювання електронних систем та їх компонентів), WorkBench (моделювання електронних систем), GPSS (імітаційне моделювання). Володіння апаратом комп'ютерного моделювання дозволяє суттєво знизити витрати на проектування і впровадження систем технічного контролю та діагностування. Основні вимоги, що пред'являються до моделювання:

- адекватність моделі і еталона. Доказ адекватності є головною проблемою моделювання. Найпростіший спосіб докази – практичні підтвердження результатів моделювання. Більш складні методи доказів адекватності зазвичай залучають досить складний математичний апарат. При

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

цьому залучаються методи статистичних оцінок, ситуаційний аналіз, методи експертних оцінок;

- повторюваність результатів моделювання, що полягає в повторенні результатів після повторних експериментів, у тому числі при невеликих змінах вихідних даних;

- варіабельність: можливість зміни вихідних даних або умов моделювання для дослідження поведінки еталона в різних умовах. Ця властивість найбільш результативна, оскільки становить основну властивість і призначення моделювання. Зазвичай воно доводиться на рівні адекватності моделі: встановлення меж варіації моделювання за умови збереження адекватності. Розглянемо кілька варіантів моделювання надійності рухомого складу.

Моделювання надійності з використанням теорії графів

В принципі, оцінка стану рухомої одиниці можлива у вигляді бінарного дерева, відповідного логічного стану об'єкта. Приклад бінарного дерева наведено на рис. 3.1 Рухома одиниця може розглядатися в різних станах. На першому етапі деталізації вводимо два стани: придатний (Г) і обмежено придатний (ОГ), що відповідає першому розгалуженню графа стану (рис. 3.1). За правилами кодування можна присвоїти одній дузі графа код 1, другий - 0. Гілка з кодом 1 відповідає повністю функціонуючій рухомій одиниці і далі можна не деталізувати. Обмежена придатність передбачає декілька різних результатів. Тут гілка з кодом 00 відповідає не ремонтпридатній одиниці (НРП) і також може далі не гілкуватися, а гілка з кодом 01 відповідає ремонтпридатному стану (РП, код 01). У свою чергу, ремонт може проводитися з переміщенням цієї одиниці в депо (переміщуваний об'єкт П, код 011) або він не здатний до переміщення (непереміщуваний об'єкт НП, код 010). В останньому випадку одиниця рухомого складу може перевозитися по частинах (переміщення з розбиранням ПР, код 0100) або ремонтуватися на

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місці (РМ, код 0101). Переміщувані одиниці можуть, в свою чергу, рухатися самостійно (С, код 0111) або на зовнішній тязі (ВТ, код 0110).

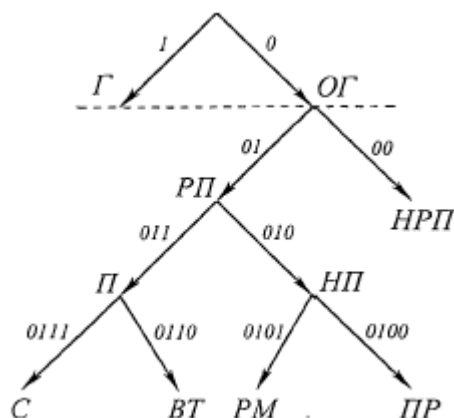


Рисунок 3.1 – Дерево станів рухомого складу

Запропоновану систему позначень можна продовжувати з подальшою деталізацією стану рухомих одиниць. Наприклад, при ремонті на місці можна кодувати наявність змінюваних апаратів, необхідність перевантаження (для вагонів), з відчепленням або без відчеплення і т.д. Для подальшого опису досить виділити три стани: дві тупикових гілки (Г і НРП) і гілка ремонтпридатності. Завдання служб експлуатації – підтримувати рухомі одиниці в придатному стані (або вчасно їх видаляти без порушень графіків руху). Таким чином, залишимо в розглянутому графі три вершини (коди 1, 01 і 00) і підійдемо до поставленого завдання з іншої позиції.

Будемо вважати, що виділені стани є результатом експлуатації рухомого складу, причому природна тенденція – переходити із стану Г в РП і в кінці кінців – в НРП. Завдання служб експлуатації та ремонту – мінімізація ймовірностей таких переходів. Як уже згадувалося вище, причинами виходу з нормального режиму рухомого складу можуть бути несправності трьох основних видів: механічного, пневмогидравлічного і електричного. Розглянемо кінцеву ситуацію: рухома одиниця може прийти в стан 01 або 00, і будемо аналізувати причини такого переходу. На першому етапі аналізу виділимо найбільш великі вузли і агрегати, несправність яких може привести в такий

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

стан. Припустимо, таких вузлів виділено K . Тоді ситуацію з можливими відмовами обладнання можна представити у вигляді графа, зображеного на рисунку 3.2.

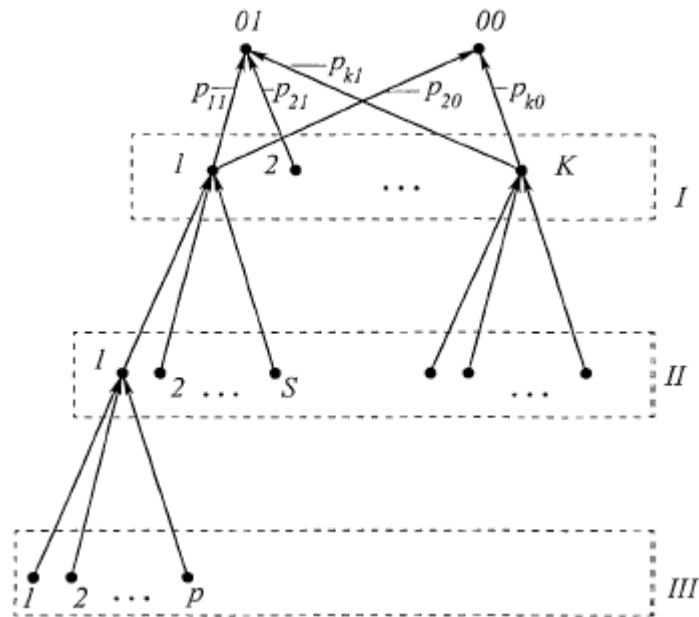


Рисунок 3.2 – Діаграма несправностей рухомого складу

Назвемо його діаграмою несправностей рухомого складу. Розглянемо описаний вище етап, який на діаграмі позначений римською цифрою I. Несправність одного з K виділених блоків може привести рухому одиницю в стан 01 або 00. При цьому не обов'язково поломка даного вузла призведе до абсолютної непридатності. Наприклад, несправність дизеля тепловоза допускає його переміщення на базу ремонту. Це означає, що відповідні дуги на графі будуть відсутні. Наприклад, від блоку 1 дуги до вершини 00 немає. Відповідні переходи на графі можуть оцінюватися числовими характеристиками. Одна з таких характеристик – ймовірності переходів. На рисунку 3.2, зокрема, позначено: p_{21} - ймовірність несправності блоку 2, що призводить до часткової несправності рухомої одиниці; p_{20} - до повної несправності. В якості альтернативних оцінок можна приймати очікуваний час переходу в несправний

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стан. Тоді дуга p_{11} матиме оцінку $T_{11}^{Oч}$. Величину $T^{Oч}$ можна обчислити за умови, що ймовірність несправності залежить від часу (що відповідає дійсності)

$$k \int_0^{\infty} P_{ij}(t) dt = \int_0^{T^{Oч}} P_{ij}(t) dt \quad (3.1)$$

де $P_{ij}(t)$ - ймовірність відмови i -го елемента на j -му переході, оцінка, прийнята в теорії надійності.

Враховуючи, що

$$\int_0^{\infty} P_{ij}(t) dt = 1,$$

отримаємо остаточно

$$\int_0^{T^{Oч}} P_{ij}(t) dt = k \quad (3.2)$$

де $k = 1 - \varepsilon$ - величина, близька до одиниці.

Найбільш поширена модель відмови - Пуассонівський потік

$$P_{ij}(t) dt = 1 - l^{-\lambda t}, \quad (3.3)$$

де λ - параметр потоку (інтенсивність) відмов.

Загальний показник надійності оцінюється сумою інтенсивностей

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (3.4)$$

В даному випадку вираз (3.4) застосувати складно, оскільки воно передбачає незалежність відмов елементів, що далеко від дійсності. Тим не менш, деяку оцінку $T^{Oч}$ можна зробити, підставляючи в формулу (3.4) вираз (3.1)

$$T^{Oч} = \frac{1}{\lambda \ln \left(1 - \frac{k}{\lambda} \right)} \quad (3.5)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення λ для елементів рухомого складу, як правило, не досліджувалися, тому вираз (3.5) можна розцінювати як варіант можливого подальшого розрахунку. Можливі й інші оцінки переходів на графі (рис. 3.2). Наприклад, можна використовувати час ремонту відповідного вузла ТР (ясно, що для переходів в стан 00 $T^P = \infty$). Незважаючи на те, що оцінювання такого роду неповне, воно може бути більш достовірним, тому що час ремонту кожного вузла відомо, і частково задано в нормативних документах (інструкції з ремонту). Інші еквівалентні оцінки – наприклад, вартісні: ціна ремонту або простою рухомого складу.

Повернемося до діаграми несправностей (рис. 3.2). Кожен з виділених на етапі I вузлів складається з ряду деталей. На рисунку це позначено етапом II, а вузол 1 розбитий на S компонентів. Кожен з виділених на цьому етапі компонентів, в свою чергу, складається з p деталей (етап III). Це розбиття можна продовжити, вводячи додаткові етапи. Межа подібних розбиттів визначається рівнем ремонту (відновлення) деталей в умовах депо: якщо деталь (агрегат) при ремонті замінюється на справну і не ремонтується, подальше розбиття не має сенсу.

На першому етапі розбиття доцільно виділяти основні профілі рухомої одиниці. Зручніше це робити з практичних міркувань ремонту, орієнтуючись на спеціалізацію ремонтних ділянок. Зокрема, прийнятна наступна розбивка:

- механічна частина (кузов, кріплення, візки, автозчеплення і т.д.);
- пневматична частина (компресор, димарі, крани, зчленування);
- електрична частина (джерела живлення, комутаційне обладнання, тягові двигуни, перетворювачі).

На другому етапі відповідне обладнання може розбиватися на блоки (наприклад, за вищенаведеним списком). Слід зазначити, що отримана діаграма не може розглядатися як сукупність ізольованих графів, оскільки агрегати між собою залежні. Так, пневматична частина живиться від мотор-компресора локомотива, який приводиться в дію від джерел електроживлення через

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

відповідну комутаційну апаратуру; в свою чергу, вона замикається на гальмівні колодки, які є закінченням механічної частини. Розбиття (декомпозицію) графа на ізольовані частини, можливо, спеціальними прийомами перетворення і заміни зчленування на еквівалентні гілки.

Діаграми надійності рухомого складу. Скористаємося викладеним математичним апаратом для аналізу конкретних рухомих одиниць залізничного транспорту. При аналізі будемо виходити з двох критеріїв: ступеня впливу вузла на технічний стан та наявності відповідних правил (інструкцій) з їх ремонту.

Електровози. Відомо, що існує кілька різних типів електровозів. Вони розрізняються за типом живлячої напруги (постійний або змінний струм), по конструкції (одно-, дво- або трьохсекційні), за призначенням (вантажні, пасажирські або комбіновані). Незалежно від цього, можна розглядати електровоз, що складається з типових вузлів. Всього таких вузлів було виділено 17. Діаграма несправностей електровоза наведена на рисунку 3.3.

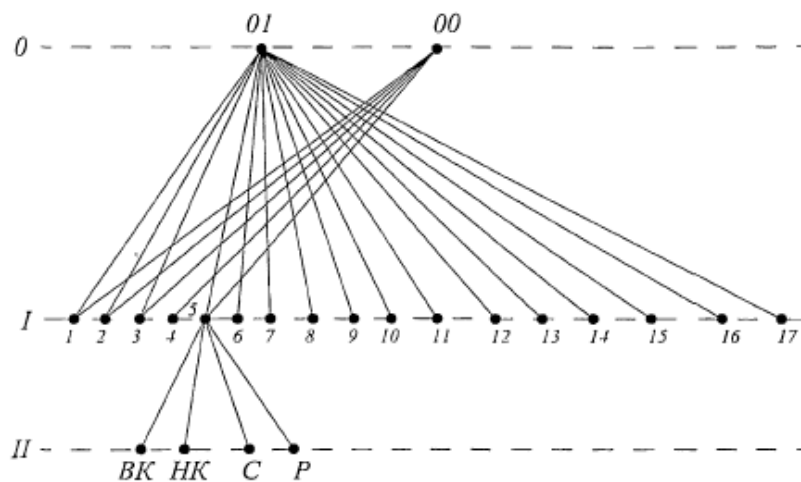


Рисунок 3.3 – Діаграма несправностей електровозів:

1 - автозчеплення; 2 - гальмівне обладнання; 3 - візок, 4 - колісна пара; 5 - буксових вузол; 6 - корпус; 7 - система підвішування; 8 - гідроамортизатора; 9 - зубчасті передачі; 10 - тяговий двигун; 11-допоміжні машини; 12-пантограф; 13-контролер, 14 - тяговий трансформатор; 15 - головний вимикач; 16- дугогаситель; 17- електрообладнання

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як і в попередньому випадку, прибраний другий етап розбиття і виділені вузли буксових підшипників. Вузли, що впливають на безпеку більшою мірою, - автозчеплення, гальмівне обладнання, колісні пари і буксові вузли.

Імовірнісні моделі надійності рухомого складу

Після побудови діаграми несправностей необхідний її аналіз. Виходячи з деревотвірної структури діаграми, аналіз можливий за різними напрямками.

Аналіз загальної надійності рухомої одиниці. Оцінимо її ймовірністю відмови або очікуваним часом безвідмовної роботи. Імовірність відмови можна оцінити як суму по блокам. Наприклад, на етапі I вираз набуде вигляду

$$P_{\Sigma 1}(t) = \sum_{i=1}^k p_{i1}(t) \quad (3.6)$$

$$P_{\Sigma 0}(t) = \sum_{i=1}^k p_{i0}(t), \quad (3.7)$$

де $p_{i1}(t)$, $p_{i0}(t)$ - ймовірність відмови i -го блоку, що призводить рухому одиницю в стан 00 і 11 відповідно. Очевидно, що аналогічні формули можна отримати на етапі II, додатково підсумовуючи по складовим компонентам

$$P_{\Sigma 1}(t) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^k p_{ij1}(t) \quad (3.8)$$

$$P_{\Sigma 0}(t) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^k p_{ij0}(t) \quad (3.9)$$

Відповідні вирази p_i , p_{ij} зручніше мати у вигляді (3.6). Якщо можливо отримання залежностей (3.6) - (3.9), за ним можна визначати критичний час експлуатації T_0^{kp} : допустимий час роботи рухомої одиниці без контролю технічного стану або ремонту. Позначимо допустиму ймовірність відмови через P_{01}^{don} або P_{00}^{don} ; тоді шукані характеристики визначаються з наступних виразів

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\Sigma 1}(T_1^{kp}) \leq P_{01}^{don} \quad (3.10)$$

$$P_{\Sigma 0}(T_0^{kp}) \leq P_{00}^{don} \quad (3.11)$$

Знаючи оцінку T^{kp} , можна планувати сітку ремонтів (контролів) для кожної рухомої одиниці T_p

$$T_p < T_{1(0)}^{kp} \quad (3.12)$$

Ця ж оцінка може бути отримана за статистичними даними експлуатації залізничної техніки. Якщо передбачити планові ремонти рухомих одиниць, то залежності $P_{\Sigma}(t)$ видозмінюються, що ілюструється на рисунку 3.4.

На рисунку 3.4 позначені залежності ймовірностей відмов рухомої одиниці без ремонтів (крива 1) і з періодичними ремонтами (крива 2). Крива 2 має характерні скачки в моменти t_{p1}, t_{p2}, t_{p3} , відповідні поточним ремонтам ПР1, ПР2, ПР3, і стрибок в момент КР (капітальний ремонт).

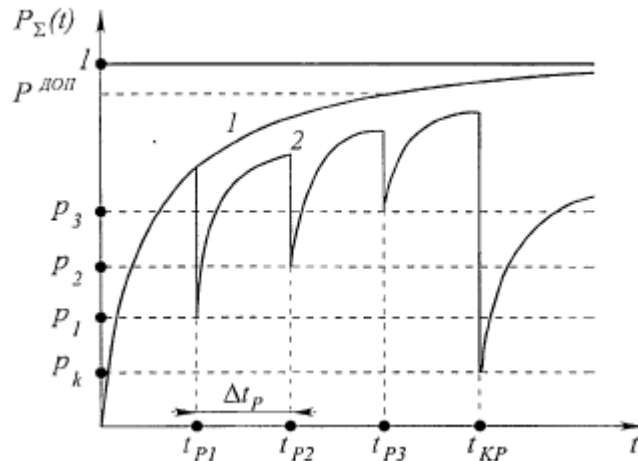


Рисунок 3.4 – Залежність ймовірності відмови

Як правило, після чергового ПР надійність підвищується (ймовірність $p(t)$ знижується), але мінімум не падає до нуля

$$p_1, p_2, p_3, p_k > 0 \quad (3.13)$$

При цьому, як правило, залишкова надійність після ремонту збільшується

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_3 \geq P_2 \geq P_1, \quad (3.14)$$

тобто, транспорт після ремонту відновлюється не повністю. Задача імовірнісного аналізу – відшукання оптимальних міжремонтних інтервалів Δt_p за критерієм найменших витрат. Пояснимо сказане. Збільшення міжремонтного інтервалу підвищує ризик невідновлювальних несправностей і збільшує частку позапланових ремонтів та зупинок поїздів на шляху прямування (тобто витрати на перевезення зростають). З іншого боку, зниження Δt_p означає збільшення витрат на ремонт (збільшення чисельності персоналу, інструментів, непродуктивні відволікання ремонтваної техніки). Отже, має бути оптимальне значення, відповідне мінімуму сукупних витрат. Теоретично обчислити оптимум Δt_p дуже важко через велику різноманітність факторів, що впливають (вид поїзда, випадковості в графіку руху, погода, кваліфікація поїзної бригади і т.д.), до того ж ситуація безперервно змінюється: те, що було оптимальним сьогодні, завтра може не відповідати оптимуму.

Сформована практика періодичних ремонтів заснована на накопиченому досвіді експлуатації і, як правило, реалізується з певним технологічним запасом (тобто ремонти виконуються частіше, ніж цього вимагає дійсний стан транспорту). Згідно ідеології ремонту за технічним станом, поточний стан рухомої одиниці оперативно оцінюється спеціальним обладнанням.

Після цього приймається кваліфіковане рішення про необхідність ремонту, його обсязі (тобто, що саме підлягає ремонту) і термінах. Це дозволить скоротити витрати на ремонт рухомого складу та підвищити його надійність.

Відшукування критичного шляху і найбільш вразливих компонентів. Якщо відомі статистики відмов компонентів рухомої одиниці у вигляді ймовірностей $P_{ij}(t_0)$, де t_0 - фіксований контрольний час, то можна знайти найбільш уразливий елемент. Це можна зробити, наприклад, у вигляді алгоритму, наведеного на рисунку 3.5.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Відповідно до алгоритму і діаграми несправностей на початку передбачається, що процес починається з рівня 0. З будь-якої з точок 00 або 01 шукається дуга, з максимальним значенням ймовірності виникнення несправного стану $P_{i,j \max}$ (блок 1). Після знаходження цієї дуги записуються її параметри i, j (блок 2). Якщо це не останній рівень (блок 3), то відбувається перехід на наступний рівень $i+1$ (блок 4) і дії блоків 1, 2, 3 повторюються. Якщо ж пошук здійснювався на останньому рівні (блок 3), то відбувається видалення елементів, пройденого в графі шляху (блок 5). При цьому якщо з вузла не виходять дуги, то він теж видаляється. Потім відбувається перевірка наявності недосліджених шляхів перетвореного графа. При позитивному результаті відбувається перехід на нульовий рівень і пошук повторюється. При негативному результаті (блок 6) дослідження припиняються.

Для отриманого рангового ряду гілок виконується умова

$$P_e > P_k > P_m > \dots > P_s \quad (3.15)$$

Якщо надійність деталей підвищити не вдається, вводиться процедура оперативного діагностування, основна функція якої – раннє виявлення несправності або їх передбачення. Якщо по діаграмі несправностей виявлено уразливий компонент, всі маршрути графа, що проходять через виділену вершину, є критичними. При видаленні (виключення) цієї вершини можна побудувати інші критичні маршрути. При цьому якщо вершина є точкою зчленування, через неї будуть проходити, принаймні, два критичних маршрути. Всі критичні маршрути повинні піддаватися додатковому аналізу.

Зауважимо, що в більшості випадків від будь-якої вершини діаграми можливі два маршрути, відповідних кінцевим станам рухомої одиниці 01 і 00 (рис. 3.1). Найбільш значимі маршрути другої категорії, що призводять до повної несправності, тому вони мають при аналізі більш високий пріоритет. Таким чином, алгоритм, описаний вище, застосовується двічі: для кінцевих вершин 01 і 00 відповідно.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

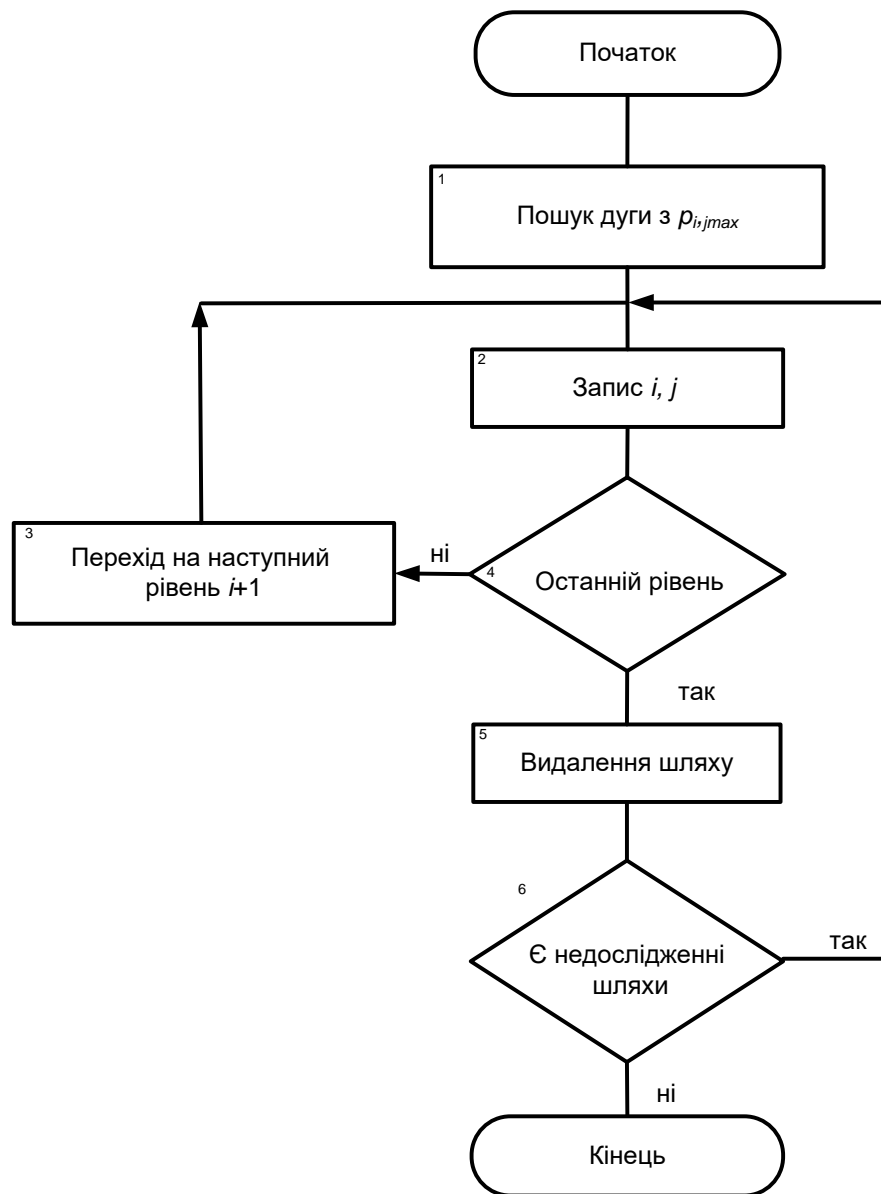


Рисунок 3.5 – Алгоритм пошуку критичних вузлів

Планування технологій ремонту та алгоритмів діагностування. Припустимо, є ранжируваний ряд виду (3.15). Він може бути отриманий не тільки теоретично, але і обробкою статистичних даних про відмови обладнання та замінах. Зауважимо, що тут не виділені окремо складові першого рівня (тобто окремо механічна, електрична, пневматична складові). На основі цієї послідовності допустимо будувати технології контролю та ремонту рухомої одиниці. Ранжируваний ряд показує черговість оглядів обладнання, вузлів та агрегатів: в першу чергу оглядаються елементи, що стоять ліворуч у зазначеній послідовності. За ранжованим рядом можна будувати технології універсальних

оглядів, призначені, зокрема, для локомотивних бригад і оглядачів вагонів на станціях і на шляху прямування. Оскільки наведений ряд представляє числову послідовність, по ньому можна скласти граничні зони оглядів. Наприклад, в зону огляду входять вузли з ймовірністю відмови не нижче C , де C - константа, обумовлена за досвідом експлуатації. При ремонтах і вузькій спеціалізації ремонтних бригад послідовність (3.15) фільтрується: з неї вибираються елементи, що входять в профіль роботи кожної бригади. Послідовність обраних елементів при цьому не змінюється, тому кожна бригада починає огляд у порядку чергування зліва по кожній послідовності. Відповідно до цього повинні складатися і типові технологічні інструкції по ремонту. З урахуванням цього повинні розроблятися засоби діагностування.

З інформаційної точки зору діагностування є випадковим процесом. Отримувані результати відповідають дійсності з певною вірогідністю. Граничні параметри для діагностування повинні визначатися статистичними методами.

На інтервалі руху довжини L можуть перебувати N_L локомотивів і N_e вагонів. Кожна з рухомих одиниць за час прямування на даній ділянці може вийти з ладу з ймовірністю P_{Hi} . У найпростішому наближенні будемо вважати, що відмови кожної транспортної одиниці незалежні від інших. Це виправдовується двома обставинами:

- при формуванні поїздів вагони вибираються випадково;
- локомотив під поїзд також виставляється випадково.

Виняток можуть становити спеціальні поїзди (контейнерні міжнародні перевезення, снігоочищувальні, пожежні), але вони відносно рідкісні і проводяться з особливих режимів. При прийнятті гіпотези незалежності формування поїздів можна використовувати байєсовські оцінки. Якщо до складу поїзда включені K рухомих одиниць, в яких ймовірності несправностей оцінюються значеннями P_{Hi} , то ймовірність їх безвідмовної роботи за час проходження

$$P_{Bi} = 1 - P_{Hi}, \quad (3.16)$$

а ймовірність безвідмовної роботи всього поїзда

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{БП} = \prod_{i=1}^K (1 - P_{Hi}) \quad (3.17)$$

По ряду причин ймовірність безвідмовної роботи поїзда залежить від надійності локомотива. По-перше, локомотив є активною одиницею руху: при його несправності потяг зупиняється. По-друге, ряд вагонних вузлів безпосередньо залежить від локомотива. Це автогальмове обладнання, освітлення, опалення (пасажирські вагони). У цьому сенсі можна ввести поняття наведеної ймовірності моделі поїзда, вважаючи його за єдиний об'єкт і переносячи вираз (3.17) на цей об'єкт. Якщо на ділянці довжини L присутній N_L локомотивів і N_g вагонів, їх безвідмовна робота може також оцінюватися.

Для оцінки якості виявлення дефектів при діагностуванні введемо наступні кількісні оцінки:

- ймовірність виявлення i -го дефекту P_{Di} ;
- час діагностування T_D ;
- економічну ефективність діагностування E_D .

Сформулюємо перераховані ознаки. Припустимо, за допомогою діагностичного комплексу проводиться експеримент з метою за кінцевий час T_D з необхідної ймовірністю виявити дефекти. Загальна кількість контрольованих дефектів $D_i \in O_D$, де O_D - область дефектів, що розрізняються. При цьому можливо вирішення таких завдань.

Загальна оцінка дефектності. При цьому з достатнім ступенем достовірності $P_D \rightarrow 1$ необхідно підтвердити наявність одного з дефектів незалежно від його типу [9]:

$$P_{Di}(T_D) \Big|_{\forall_i} \geq P_{Don} \quad (3.18)$$

Цей вираз показує, що незалежно від виду дефекту (\forall_i - квантор спільності, що означає будь-яку подію з допустимої безлічі O_D) наявність дефекту діагностується заданою ймовірністю P_{Don} (наприклад, 0,9).

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Задача такого виду дає однозначне рішення відправити діагностований об'єкт у ремонт. Подальші роботи зведуться до розбирання цього об'єкта, локалізації дефекту іншими засобами і заміні дефектних деталей. Економічна ефективність такого методу виявлення дефектів невисока, тому що витрачаються додаткові час і кошти на локалізацію дефекту.

Загальна оцінка дефектності за виразом (3.18) не дозволяє деталізувати причини відмов, тому може використовуватися для зовнішніх документів.

Поелементна (подетальна) оцінка дефектів. У технічній діагностиці перехід на локалізацію дефектів називається методом занурення. Логіка роботи діагностичної системи може будуватися за двома алгоритмами: паралельний аналіз і метод винятків. У першому варіанті, структура якого наведена на рисунку 3.6, аналіз дефектів проводиться незалежно по каналах. Логіка роботи в цьому варіанті полягає в наступному. Кожен з дефектів аналізується незалежно від інших, а за результатами сукупності перевірок робиться висновок про місце дефекту і його значимості. Паралельний аналіз має низку недоліків.

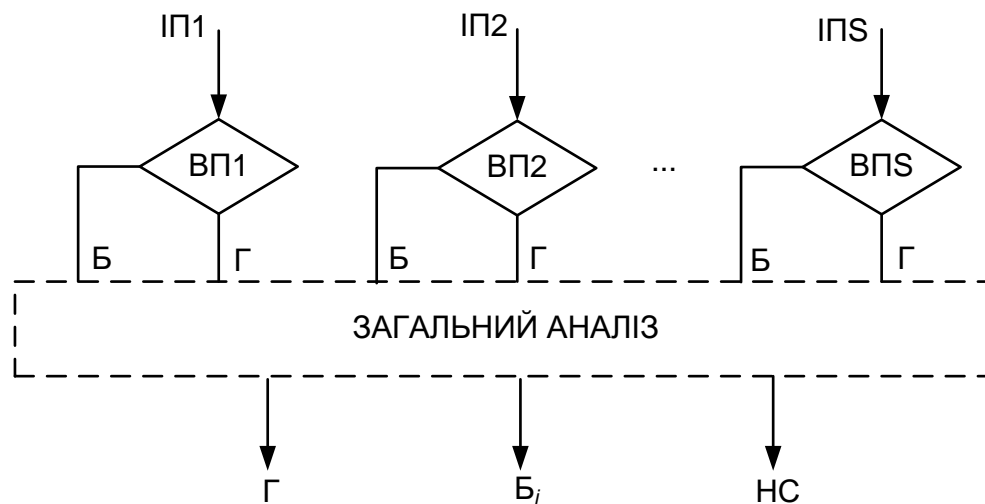


Рисунок 3.6 – Паралельний аналіз:

ІП1, ІП2, ..., ІПС – інформативні параметри від датчиків, що встановлені на діагностуємому об'єкті; ВП1, ВП2, ..., ВПС – вирішуючі пристрої; Б – брак (B_i - брак i -го вузла); НС – невизначений стан

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Апаратна і функціональна надмірність. Для кожного дефекту необхідний свій канал діагностування. В результаті пристрій виходить громіздким і ненадійним, а час діагностування невиправдано зростає.

- Низька точність діагностування при наявності функціональної залежності вузлів. Останнє майже завжди має місце незалежно від того, які вузли діагностуються (механічні, електричні, гідравлічні, пневматичні).

Другий можливий метод – класична оптимізаційна задача, відома в літературі як симплекс-метод. Його суть полягає в наступному. Складається система алгебраїчних рівнянь, в яких ймовірності $P(i|j)$ відіграють роль коефіцієнтів, а головна діагональ виключається. Невідомими змінними можуть виступати вимірювані інформативні параметри

$$X_i = \Pi_i \quad (3.19)$$

Виходить наступна система рівнянь

$$\begin{aligned} P(1|2)X_2 + P(1|3)X_3 + \dots + P(1|S)X_S &= Q_1; \\ P(2|1)X_1 + P(2|3)X_3 + \dots + P(2|S)X_S &= Q_2; \\ \dots & \\ P(S|1)X_1 + P(S|2)X_2 + \dots + P(S|S-1)X_{S-1} &= Q_S. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Тут значення Q_1, Q_2, \dots, Q_S - фактори значущості, що оцінюють вплив дефектів 1, 2, ..., S на загальну надійність діагностованого об'єкта.

При використанні методу виключень, алгоритм якого показаний на рисунку 3.7, аналіз проводиться методом послідовного прийняття рішень по етапах діагностичного експерименту.

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

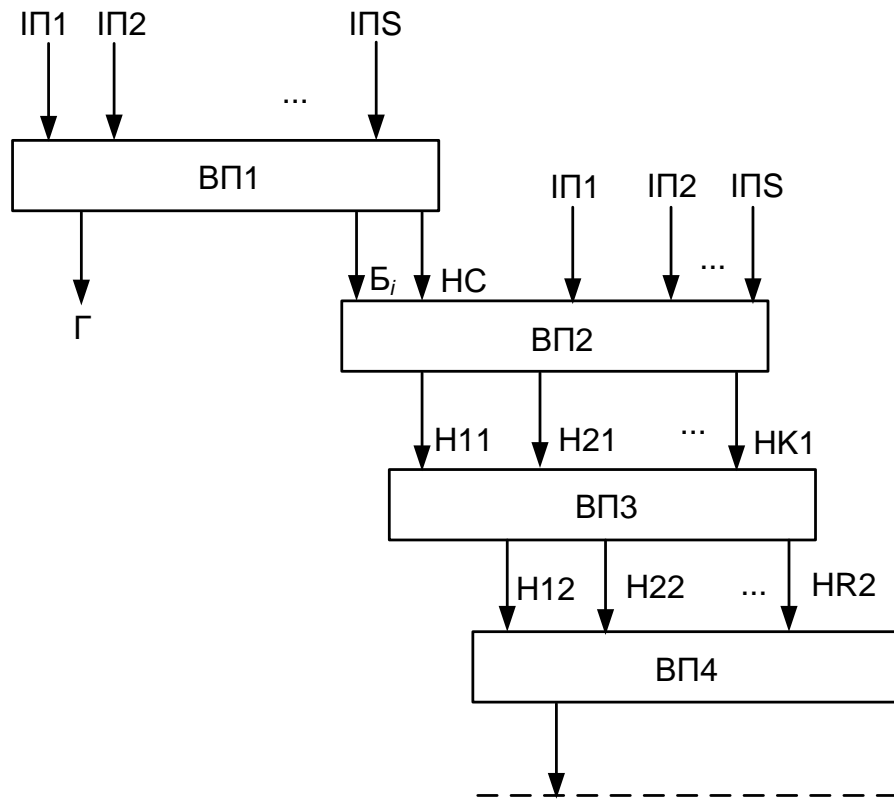


Рисунок 3.7 – Метод виключень

На першому етапі вирішувальний пристрій ВП1 робить первинну оцінку несправності. При відсутності дефектів експеримент закінчується. Якщо дефект виявлений, на наступному етапі відбувається його локалізація. Для цього на пристрій ВП2 (воно може бути апаратно тим же, але функції дещо змінюються) заводяться ті ж вимірювані параметри (або їх частина), і аналіз триває для вузла, в якому виявлена несправність.

Комплексна непряма діагностика. Може використовуватися у випадках, коли вимірювані параметри не пов'язані безпосередньо з діагностованими несправностями. Загальна постановка задачі має наступний вигляд. Припустимо, контролюється S параметрів об'єкта, що діагностується X_1, X_2, \dots, X_S . Введемо коефіцієнти значущості a_{ij} , що характеризують вплив i -го параметра на j -й дефект. Тоді для будь-якого j -го дефекту можливо скласти рівняння

$$a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + \dots + a_{Sj}x_S = C_j \quad (3.21)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_j - критерій значимості (у простому випадку він відповідає ймовірності виявлення j -ї несправності).

Узагальнюючи вираз (3.21) на безліч P несправностей, отримуємо систему рівнянь виду

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1S}x_S &= C_1; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2S}x_S &= C_2; \\ \dots & \\ a_{p1}x_1 + a_{p2}x_2 + a_{p3}x_3 + \dots + a_{pS}x_S &= C_p. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Тоді загальна кількість локалізуємих дефектів

$$N^{(1)} = P \quad (3.23)$$

Тут індекс ⁽¹⁾ означає, що параметри x_i враховуються незалежно.

Достовірність оцінки надійності цього вузла визначається як ймовірність попадання у виділений інтервал

$$P_D = \int_{\Delta x_{\text{дон}}} f(x) dx \quad (3.24)$$

де $\Delta x_{\text{дон}}$ - допустимі значення параметра, при яких виріб (вузол, деталь) визнається працездатним.

Тоді ймовірність помилки діагностування дорівнює площі заштрихованої частини

$$P_{\text{ном}} = 1 - P_D = 1 - \int_{\Delta x_{\text{дон}}} f(x) dx \quad (3.25)$$

Якщо рішення про дефект приймається по k незалежним параметрам, то сумарна помилка визначається зі співвідношення

$$P_{\text{ном}\Sigma} = \sum_{i=1}^k \left[1 - \int_{\Delta x_{\text{дон}}} f(x) dx \right] \quad (3.26)$$

тобто при кратних критеріях помилка зростає, що знижує якість технічного діагностування.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вираз (3.26) ілюструється рисунком 3.8. Тут заштрихована частина відповідає значенням інтеграла в квадратних дужках.

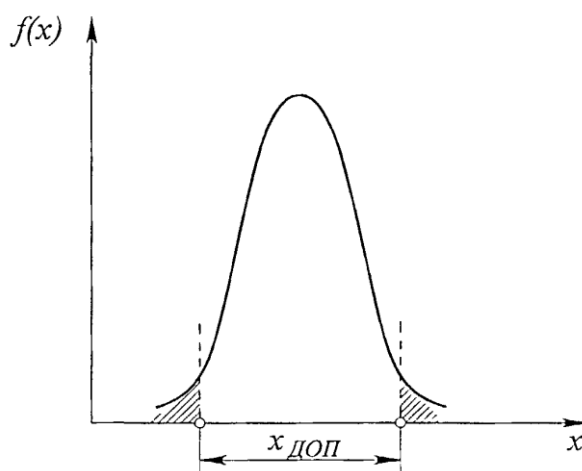


Рисунок 3.8 – Імовірність оцінювання допуску несправності

Таким чином, показано, що ефективність контролю технічного стану зростає при зменшенні інтервалів між сусідніми перевірками. Це підтверджує той факт, що контролювати справний пристрій простіше, ніж виявляти несправності.

Цей факт має серйозний практичний висновок: для контролю працездатності справних механізмів (виробів) можна використовувати більш просте контрольне обладнання, ніж для пошуку несправностей, і бажано проводити такий контроль частіше.

Це значить, що масовий випуск приладів контролю типу індикаторів ефективний. Такими приладами можна постачати досить велику кількість учасників перевезень (локомотивні і поїзні бригади, оглядачі і т.д.). Користуючись наведеними співвідношеннями, можна досить коректно аргументувати час проведення поточних перевірок залізничної техніки. Для подальшої і більш глибокої роботи необхідно узагальнити наявну статистику по вузлах і деталям, особливо у функції часу.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

До сих пір розглядалася симетрична діагностична система. Фактично це не так, що й було отримано в ході розрахунків (перевірка працездатності не може збігатися з пошуком несправностей). Достовірні дані про ці ймовірності отримати проблематично в силу наступних причин. Як правило, отримання надійної статистики по сукупності однотипних пристроїв важко внаслідок того, що об'єктивно важко отримати однакові за характеристиками виробу. Це повною мірою відноситься до залізничної техніці: будь-яка рухома одиниця має свої особливості вже на стадії виготовлення і експлуатуються вони в різних умовах (різні режими експлуатації, кваліфікація обслуговуючого персоналу, кліматичні умови, ремонт і т.д.). Відомо, що парк залізничної техніки зараз застарів, а при цьому індивідуальні особливості окремих одиниць накопичуються. Більш того, статистичний підхід (технічний об'єкт з усередненими характеристиками) на практиці може бути навіть шкідливим, оскільки збільшує ймовірність відмов.

Кожна з розглянутих ймовірностей – функція часу, причому вони мають різний вигляд. Більш того, на вид функцій впливають і умови обслуговування, і способи контролю (діагностування), і якість ремонту, що проводиться. Зазначимо, що диференціація деталей (вузлів) за інтенсивністю відмов і облік цього в загальному аналізі можуть помітно підвищити надійність рухомого складу. Припустимо, в рухомій одиниці існує S типів деталей, що помітно впливають на надійність, причому ймовірність відмови першої деталі за час експлуатації дорівнює P_1 , а кількість таких деталей n_1 ; то ж для другої деталі, P_2 і n_2 відповідно і т.д. Тоді середня ймовірність відмови

$$P_{cp} = \frac{1}{N} \sum n_i P_i \quad (3.27)$$

де $N = \sum n_i$ - загальна кількість врахованих деталей.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Припустимо, що інтенсивності відмов ранжовані, тобто розташовані в порядку убутання ймовірностей з урахуванням n_i (добутків $n_i P_i$). Якщо для перших K типів деталей з рангового списку ввести регулярний контроль, середня ймовірність відмови при цьому буде менше. У цьому полягає сутність політики послідовного переозброєння галузі системами контролю. Її можна описати наступним покроковим алгоритмом:

- необхідно провести обстеження деталей об'єкта за ймовірністю відмов; в результаті визначаються значення $n_i P_i$;
- отримані дані ранжуються в порядку убутання;
- переоснащення галузі засобами контролю повинно починатися з пристроїв, розташованих на початку отриманого ряду;
- по мірі насичення галузі засобами контролю для найбільш ненадійних вузлів проводяться заходи з організації діагностування наступних вузлів цього рангового ряду.

Наведені співвідношення дозволяють виробляти кількісну оцінку стану рухомого складу і якості його ремонту. Подальші дослідження в цій галузі припускають складання статистичної бази даних про роботу експлуатаційних і ремонтних служб. Після створення такої бази даних і розробки відповідних методик необхідно створити матеріально-технічні передумови для достовірного визначення ефективності вказаних служб.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Комплексна система управління надійністю залізничної техніки

Для підвищення достовірності оцінки стану залізничної техніки необхідно проводити її комплексні випробування. При цьому, чим більш незалежні один від одного методи контролю, тим більше вірогідність результату.

Розширення функцій діагностичного обладнання, вдосконалення алгоритмів його роботи, можливо з використанням алгоритмічної та апаратної надмірності обладнання. Під алгоритмічною надмірністю розуміють запас діагностичної системи за об'ємом пам'яті, продуктивності і методикам випробувань. Як правило, сучасні засоби технічного діагностування виробляються з великим запасом по об'єму пам'яті та продуктивності. Таким чином, основна тенденція розвитку систем діагностування повинна полягати у розробці нових методик контролю технічного стану та діагностування. Вони повинні забезпечувати максимальну продуктивність при збереженні якості або підвищувати достовірність діагностування (або в ідеалі те й інше одночасно). Під якістю в даному випадку розуміється імовірність помилок результатів діагностичного експерименту. Використання складного і дорогого обладнання не завжди виправдано.

По-перше, воно довше окупується. Час окупності залежить від безлічі факторів, але в першу чергу від обсягів використання. Припустимо, при діагностуванні однієї одиниці техніки досягається економічний ефект E_1 . Якщо на рік обслуговується $N_{рік}$ одиниць техніки, річний ефект складе $E_{рік} = N_{рік} \cdot E_1$. Якщо вартість діагностичної системи (включаючи витрати на її експлуатацію та ремонт) дорівнює B_D , то необхідно виконання вимоги

$$N_{рік} \cdot E_1 > K_n \cdot B_D, \quad (4.1)$$

де K_n - нормативний коефіцієнт окупності.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При невиконанні умови (4.1) комплекс не застосовується.

Другий негативний момент – збільшення часу випробувань $T_{\text{сум}}$, яке складається з трьох складових: підготовка до експериментів $T_{\text{Д}}$, власне експеримент $T_{\text{е}}$ та інтерпретація результатів. Для складних діагностичних комплексів дві останні складових майже не змінюються, але час підготовки зазвичай помітно зростає (більша кількість датчиків, отже, довше установка).

Третя обставина, яку необхідно враховувати, - більш складні системи вимагають підвищеної кваліфікації обслуговуючого персоналу і збільшених експлуатаційних витрат. У зв'язку з цим дорогі діагностичні системи можуть встановлюватися не у всіх лінійних підприємствах транспорту, а наприклад, в базових депо. Відстань між ними досить велика, отже, рухомий склад може потрапляти на них рідше в порівнянні з іншими місцями контролю. Припустимо, ймовірність відмови рухомого складу на шляху прямування змінюється у функції часу по лінійному закону (тобто пропорційна часу роботи)

$$P_{\text{від}} = \alpha T_p. \quad (4.2)$$

Тоді відносне збільшення ймовірності відмови пропорційно подовженню відстані між пунктами перевірок

$$\frac{P_{\text{від}2}}{P_{\text{від}1}} = \frac{T_{p2}}{T_{p1}} \quad (4.3)$$

де показники з індексами 1 і 2 відповідають ситуації до і після подовження плечей обслуговування. Іншими словами, ризик відмови в шляху проходження зростає. Вихід з цієї суперечності може бути знайдений при розширенні номенклатури діагностичного обладнання. Якщо одночасно зі складною діагностичною апаратурою використовувати менш дорогі пристрої (хоча і з великим рівнем похибок), але розташовувати їх на інтервалах руху поїздів частіше, ризик пропуску ненадійною рухомий одиниці можна знизити.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Математично поставлена задача формулюється таким чином. Розглянемо досить довгу ділянку залізниці, що включає в себе кілька (N) пунктів перевірки стану рухомого складу. З них N_1 пункт має засоби глибокої перевірки технічного стану (описані вище діагностичні комплекси), а N_2 пункту – кошти полегшеного контролю. Очевидно, $N = N_1 + N_2$. Припустимо, перевірки стану незалежні. В цьому випадку справедлива формула Байєса про результуючі ймовірності на виділеному інтервалі

$$P_{\text{сум}} = \frac{N_1 \cdot P_{\text{ном1}} \cdot N_2 \cdot P_{\text{ном2}}}{N} \quad (4.4)$$

Позначимо $\frac{N_1}{N} = v$. Тоді вираз (4.4) набуде вигляду

$$P_{\text{сум}} = v \cdot P_{\text{ном1}} \cdot (1 - v) \cdot P_{\text{ном2}} \quad (4.5)$$

Тоді вимога оптимізації по насиченню ділянки дороги двома типами обладнання приймає вид

$$\{v \cdot P_{\text{ном1}} \cdot (1 - v) \cdot P_{\text{ном2}}\} \rightarrow \min_v \quad (4.6)$$

Вирішуючи цю задачу класичним чином, візьмемо приватну похідну від (4.6) по v і прирівняємо її до нуля. Рішення має наступний вигляд

$$\frac{v}{1 - v} = \frac{P_{\text{ном1}}}{P_{\text{ном2}}} \quad (4.7)$$

Вираз (4.7) означає, що співвідношення обладнання більш складного до більш простого пропорційно відношенню помилок діагностування. Наприклад, якщо ймовірність помилки з використанням діагностичного комплексу в десять разів менше, ніж з використанням простого приладу, останніх повинно бути в десять разів більше.

Була запропонована більш складна структура комплексної системи оцінки стану рухомого складу [10]. Вона лягла в основу концепції управління якістю рухомих одиниць і являє собою структуру, наведену на рис. 4.1. У

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

зв'язку з тим, що система виконує і управлінські функції, вона отримала назву - багаторівнева система управління якістю рухомого складу.

Згідно з наведеною схемою, виділено три рівні контролю і управління: стаціонарні, оперативні і бортові системи контролю технічного стану. Основними критеріями її оптимізації є:

- скорочення непродуктивних простоїв рухомого складу, особливо в дорозі прямування; статистика збитків від простоїв відома і періодично оновлюється;
- зниження витрат на ремонт шляхом своєчасного виявлення та усунення дефектів;
- поліпшення умов праці, підвищення безпеки;
- скорочення чисельності обслуговуючого персоналу.

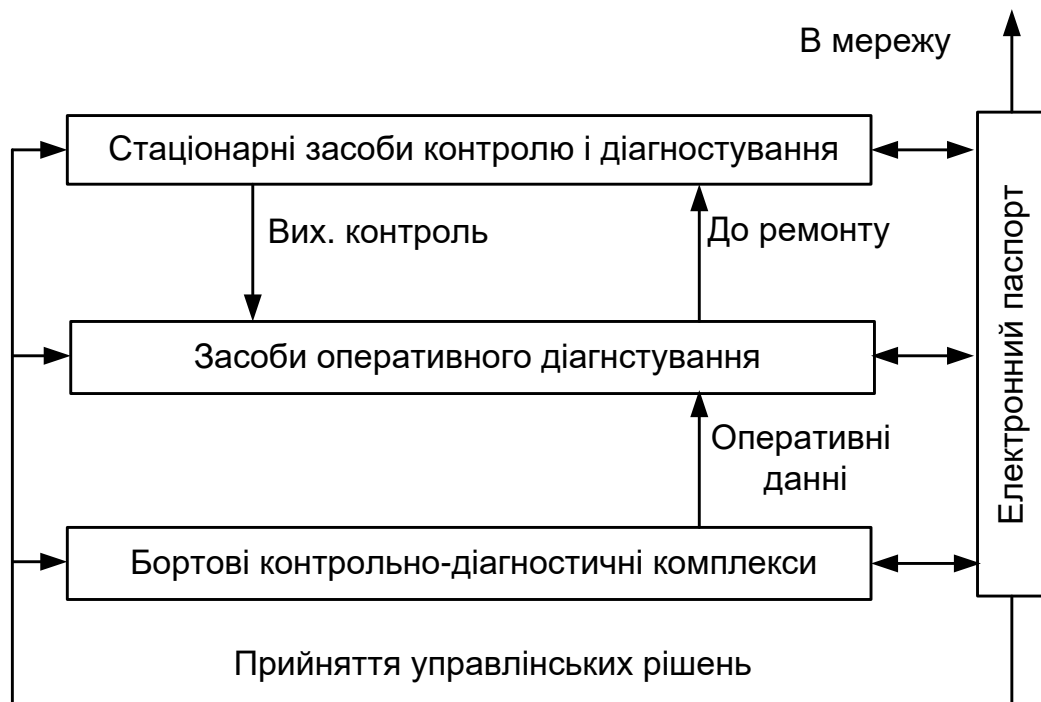


Рисунок 4.1 – Структура багаторівневої системи управління якістю рухомого складу

Стаціонарні засоби контролю і діагностування встановлюються в ремонтних депо. Вони виконують такі функції:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Визначення термінів та обсягів ремонту (вхідний контроль) з виявленням несправних вузлів. Така операція дозволяє обмежитися мінімумом дій і не призводити до зайвих операцій збирання-розбирання.

2) Стендова перевірка якості окремих вузлів.

3) Регулювання ремонттованих вузлів.

4) Перевірка якості ремонту в цілому після збірки (вихідний контроль).

Зазвичай стаціонарне обладнання проектується під спеціально виділені для нього приміщення. Воно по можливості доповнюється засобами механізації допоміжних робіт (такими, як транспортування, установка на робочий стіл, доповнення спеціальними інструментами). Кошти оперативного діагностування зазвичай виконують в мобільному варіанті. Вони використовуються в умовах як ремонтних, так і експлуатаційних депо. Головне їх призначення – прийняття рішень про необхідність та обсяги ремонту. Найбільш ефективно вони працюють при оперативному обстеженні рухомого складу під час короткочасних зупинок на шляху прямування поїздів. Прилади такого рівня можуть виконувати завдання від простої індикації несправного стану до складання прогнозу щодо розвитку дефектів.

Бортові контрольно-діагностичні комплекси розміщуються безпосередньо на рухомому складі та контролюють технічний стан елементів в роботі. Такий спосіб контролю є самим оперативним. Бортові системи здатні вирішувати ряд завдань. Головне завдання – виявлення критичних вузлів в ході експлуатації. При необхідності інформація про такі ситуації видається оперативному персоналу. До їх числа відносяться локомотивні бригади, провідники пасажирських вагонів і т.д. Інформація представляється в вигляді попереджувальних написів на додаткових табло. В особливо небезпечних випадках (порив гальмівної магістралі, відчеплення вагонів, перегрів буксових вузлів або двигунів і т.д.) подаються звукові сигнали. Така інформація унікальна, оскільки оперативно відображає стан діагностується одиниці безпосередньо в експлуатації. На жаль, бортові комплекси можна розмістити не

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на всіх типах рухомого складу. Перш за все, через те, що установка дорогого устаткування не окупається. Друга причина – відсутність персоналу з обслуговування таких систем, особливо для вантажних вагонів. Нарешті, третя причина – організаційна: якщо рухомий склад експлуатується по всій мережі доріг, як організувати зчитування інформації, куди її передавати і хто повинен відповідати за надійність роботи таких систем. В умовах України остання проблема дуже значуща і не може вирішуватися на основі зарубіжного досвіду.

Тим не менш, залишається актуальною задача оперативного відстеження місцезнаходження рухомих одиниць на території України і ближнього зарубіжжя. Не дивлячись на її розуміння і безліч спроб рішення, вона до цих пір не вирішена. В контексті постановки завдання управління якістю рухомого складу велике значення має вказана взаємодія рівнів (рис. 4.1). Крім того, ці рівні мають бути наповнені конкретними технічними рішеннями.

На всіх рівнях системи можуть застосовуватися різні засоби технічного контролю і діагностування. Заходи і еталонні зразки – технічні засоби, які відтворюють фізичні величини і службовці для порівняння параметрів контрольованих об'єктів. Вони поділяються за типом відтворюваних фізичних величин. Найбільш прості заходи лінійних величин, розроблені для безлічі розмірів порівняно невеликих величин. З їх допомогою вимірюються лінійні розміри.

Незручності заходів і еталонів лінійних розмірів – необхідність ручного регулювання і виконання вимірювань. Крім того, з'являється необхідність перекладу зроблених замірів в цифрову форму для складання електронного паспорта. Для усунення зазначених недоліків розроблено електронний штангенциркуль, призначений для вимірювання лінійних розмірів. Сутність вимірювання зводиться до перетворенню переміщення рухомої частини штангенциркуля в цифровий код, формований спеціальним масковим перетворювачем. Розроблений штангенциркуль може вбудовуватися в інші засоби вимірювання лінійних розмірів.

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Дуже складно реалізувати заходи для великих лінійних розмірів, а також для геометричних параметрів складної форми. Великий клас таких пристроїв становлять шаблони, але вони важко атестуються. Особливий клас пристроїв мають тіла обертання; їх вимірювання становлять чималу проблему. Тим не менш, цей клас вимірювань представляє важливе завдання для залізничного транспорту, так як вони мають безпосередній вплив на якість перевезень. Наприклад, основний елемент рухомої одиниці – це колісна пара. Від її геометричних параметрів залежить поведінка вагонів (локомотивів) під час руху. Виникають питання визначення еліпсу і ексцентриситету коліс, форми гребенів і їх оцінки, паралельності площин коліс, відстані між ними і т.д. Дуже велике значення мають вимірювання геометричних параметрів візків. Необхідні методологічні рішення для визначення нормативних параметрів і способів контролю.

Велику проблему представляють виготовлення і особливо використання в експлуатації заходів для інших фізичних параметрів. Зокрема, їх можна підрозділяти на наступні групи. Заходи для динамічних вимірювань (переміщення, повороти і обертання, прискорення і т.д.). Зазвичай у відповідності з принципом Даламбера прийнято рух в просторі описувати за їх складовими (ступенями свободи). Відповідно до цього будь-який рух класифікують за ступенями свободи. При цьому вимірювання в статиці суттєво різняться від аналогічних дій в динаміці. Згідно з принципом Бріллюена, вимірювальний пристрій повинен віднімати якомога менше енергії від предмета контролю. Це накладає своєрідні вимоги і на еталонні зразки. Заходи динамічних змін створити досить проблематично, навіть для найпростіших, пов'язаних з одним ступенем свободи.

Заходи механічного характеру: маси, зусилля, моменти сил. Як і для динамічних вимірювань, можуть розкладатися за ступенями свободи і так само можуть бути динамічними. В останньому випадку еталони розроблені недостатньо. Крім того, виникають специфічні залізничні завдання, які до цих

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

пір є важко вирішуваними: наприклад, вимірювання тягових зусиль локомотива або коефіцієнта зчеплення колеса з рейкою і т.д.

Заходи для фізичних величин електричного та електромагнітного профілю включають в себе безліч найменувань різного профілю. Їх можна класифікувати за наступними ознаками:

- постійний струм: струми, напруги, активні опори (в тому числі ізоляції), провідності;
- змінний струм: струми, напруги, активні, реактивні та комплексні опору, індуктивності (в тому числі взаємні), ємності, частоти, форми кривих (або спектри);
- електромагнітні поля: потенціали та напруженості полів заданої форми, спрямованості (градієнти), постійні та змінні в часі поля.

Заходи для фізичних величин термодинамічного характеру: температура, тиск, швидкість витікання (для рідин або газів). Дуже важливі для рухомого складу, наприклад, для контролю стану гальмівної апаратури (тиск в магістралі), стану палива і паливного обладнання (температура, тиск, в'язкість). Такі заходи розроблені недостатньо. Дуже важливі динамічні вимірювання, наприклад, при вимірах тиску уприскування палива, динаміки зміни температури в буксових підшипниках. Датчики (вимірювальні перетворювачі) фізичних величин. Їх включення до складу контрольно-діагностичних систем обов'язково. Як і заходи, датчики можуть класифікуватися за ознакою вимірюваної величини. Крім того, до датчиків пред'являються такі специфічні вимоги.

Метрологічні характеристики та властивості: основна та додаткова похибка. Похибка – це відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Похибка називається основною, якщо вона пов'язана з вимірюванням самої величини, і додатковою, якщо вона пов'язана з факторами, що додатково впливають.

На рисунку 4.2 наведена ілюстрація залежності результату вимірювання у від вимірюваної величини x .

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відхилення результату вимірювання від дійсного значення Δ показано на рис. 4.2. Видно, що похибка залежить від значення вимірюваної величини. Часто прагнуть лінеаризувати характеристику $y = f(x)$ або по можливості знизити нелінійність.

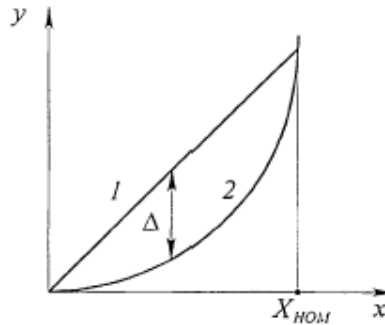


Рисунок 4.2 – Визначення похибки:

1 - приклад ідеального виміру; 2 - приклад реального виміру;

$X_{НОМ}$ - номінальне значення вимірюваної величини (зазвичай найбільше за шкалою допустимих значень)

Відношення максимально можливої похибки в діапазоні виміру до номінального значення називається наведеної похибкою. За значенням наведеної похибки здійснюється нормування датчиків і вимірювальних приладів.

Існує низка гранично допустимих значень зведеної похибки в відсотках, за яким здійснюється класифікація вимірювального обладнання. Наприклад, клас 0,5 означає, що наведена похибка даного вимірювального засобу не перевищує 0,5 %. Велике значення має поняття динамічного діапазону – інтервалу значень вимірюваної величини, на якому зберігаються властивості приладу або перетворювача. Для систем контролю технічного стану об'єктів діагностування вимоги до погрішностей датчиків специфічні. Такі датчики працюють у відносно меншому динамічному діапазоні. Проте в цьому діапазоні необхідно забезпечити значно меншу похибку. Помилки в цих вимірах

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

визначають помилки першого і другого роду та пов'язані з ними наслідки. Додаткові похибки вимірювань в процесі діагностичного експерименту теж нормуються. Разом з тим вони аналогічним чином можуть приводити до помилок діагностування. Для залізничного транспорту додаткові похибки мають високий вагу. Пояснюється це, насамперед важкими умовами експлуатації (великий діапазон температур елементів конструкції і зовнішнього середовища, динамічні дії, підвищений рівень електромагнітних впливів).

Експлуатаційні властивості. До них відносяться:

- конструктивні особливості датчиків, зручність їх установки та експлуатації на час проведення робіт;
- механічні характеристики та вплив зовнішніх механічних впливів на властивості датчиків;
- уніфікованість характеристик і відповідний інтерфейс систем діагностування.

При проведенні робіт з контролю і діагностування велике значення має можливість уніфікації. Вона дозволяє досягти наступних позитивних результатів:

- уніфікація (створення однотипних властивостей і описів для всієї номенклатури властивостей об'єкта, способів їх опису та супроводу результатів);
- модульність (можливість створення діагностичних систем з гнучкою архітектурою);
- особливі умови для формування електронної документації по динамічному оцінюванню технічного стану рухомих одиниць (електронна паспортизація).

Сучасні вимірювальні системи мають в основі цифрові вимірювання, обробку і представлення результатів. Узагальнена структура таких пристроїв має вигляд, наведений на рис. 4.3.

Контрольований параметр об'єкта перетворюється чутливим елементом ЧЕ в деяку фізичну величину (найчастіше електричну). До ЧЕ пред'являються вимоги, в основному, достатнього динамічного діапазону і стабільності в часі

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

його характеристик, а також експлуатаційні якості (зручність установки, мале споживання потужності, здатність працювати в комплексі). Вихідний сигнал ЧЕ перетворюється за допомогою АЦП в цифровий код, який приймається мікропроцесором.

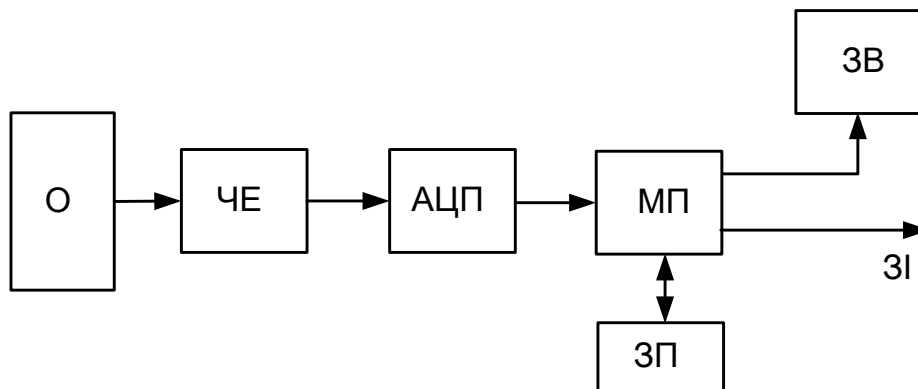


Рисунок 4.3 – Узагальнена структура вимірювального модуля:

О - об'єкт з певним контрольованим параметром; ЧЕ – чутливий елемент;
 АЦП - аналого-цифровий перетворювач; МП - мікропроцесор;
 ЗП - запам'ятовуючий пристрій; ЗВ - засоби відображення;
 ЗІ – зовнішній інтерфейс

Останній працює за заданою програмою, записаною в ЗУ, і дозволяє проводити не тільки обчислення вимірюваної величини, але і ряд інших операцій:

- лінеаризацію характеристики ЧЕ з метою підвищення точності;
- перетворення прийнятого сигналу до потрібної форми (нормалізація, цифрова фільтрація, статистичні обчислення, непрямі або нелінійні обчислення і т.д.);
- видачу результатів необхідного виду в прийнятній формі.

Сучасні вимірювальні мікропроцесорні модулі мають досить великим арсеналом засобів для налагодження та налаштування подібних систем, включають, у тому числі модульне програмування. Подібний арсенал дозволяє користувачам займатися проектуванням і реалізацією подібних комплексів навіть без особливих знань в спеціальних областях. Крім того, модулі часто виконуються в багатоканальному варіанті (2, 4, 8 каналів), в тому числі не обов'язково для однотипних величин.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Діагностичні комплекси (системи) (ДК) – це пристрої, призначені не тільки для контролю фізичних параметрів об'єктів, але й для проведення діагностичних експериментів над контролюємими об'єктами, прийняття рішень за результатами експериментів, прогнозування стану об'єктів, формування електронних паспортів та спеціальних баз даних.

Це – повний список вирішуваних завдань; в конкретних випадках можлива та чи інша їх реалізація. В залежності від функцій, складу і цілей використання діагностичні комплекси можна класифікувати за такими ознаками (рис. 4.4):

- за ступенем мобільності: переносні або стаціонарні;
- за кількістю діагностованих параметрів: вузькопрофільні або комплексні;
- по режиму роботи: безперервні або епізодичні;
- по конструктивним виконанням: розосереджені і компактні;
- за ступенем участі людини: ручні, автоматизовані або автоматичні;
- за остаточними результатами: вказують, що пропонують або прогнозуючі;
- по алгоритму функціонування: жорсткі, стохастичні або адаптивні;
- по взаємодії з оператором: з жорстким або гнучким алгоритмом діагностування.

Основне завдання експлуатуючих організацій – забезпечення максимальної тривалості використання за призначенням дорогої залізничної техніки. Критерій ефективності використання можна записати у формі

$$T_{експ} \geq \frac{T_{кн} P_n}{P_{дон}} \quad (4.8)$$

де $T_{експ}$ - час експлуатації даної рухомої одиниці;

$T_{кн}$ - нормативний час її роботи до списання;

P_n - ймовірність надійної роботи даної одиниці;

$P_{дон}$ - допустиме значення цієї ймовірності.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

СТУПІНЬ МОБІЛЬНОСТІ

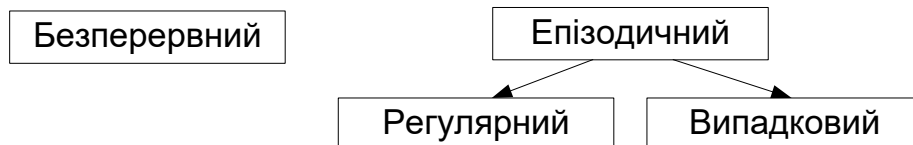
Переносні

Стаціонарні

КІЛЬКІСТЬ ДІАГНОСТОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ

Вузькопрофільні

Комплексні



КОНСТРУКТИВНЕ ВИКОНАННЯ

Розосереджений

Компактний

СТУПІНЬ УЧАСТІ ЛЮДИНИ

Ручний

Автоматизований

Автоматичний

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ

Що вказує

Розпорядчий

Що прогнозує

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Жорсткий

Стохастичний

Адаптивний

ВЗАЄМОДІЯ З ОПЕРАТОРОМ

Жорстке

Гнучке

Рисунок 4.4 – Класифікація діагностичних комплексів

Рівень мобільності означає технологію використання ДК. Переносні ДК використовуються операторами в оперативному режимі. Можливі, зокрема, наступні ситуації:

- під час руху поїзда локомотивна бригада виявила відхилення від штатного режиму в русі поїзда або роботі локомотива. За прийнятим повідомленням на найближчому зупинному пункті оперативний фахівець з діагностики перевіряє стан рухомої одиниці. За результатами оперативної діагностики видається

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рекомендація на продовження руху або вилучення несправної рухомий одиниці;

- при подачі локомотива під поїзд або при його поверненні в депо проводиться оперативна перевірка стану, після якої дається дозвіл або заборона подальшої роботи цього локомотива;

- при призначенні рухомої одиниці в ремонт перевіряється доцільність цього ремонту, а також його глибина. Це може здійснюватися системою оперативної діагностики.

У загальному випадку сформульована задача вирішується в динаміці (тобто у функції часу) і з урахуванням обмежень. Найбільш суттєвим є обмеження за вартістю робіт, що проводяться. Завдання оптимізації можна сформулювати і з позицій вартості робіт

$$C_{don} \geq C_B, \quad (4.9)$$

де C_B - сукупні витрати на підтримку надійності;

C_{don} - допустимі розміри витрат.

Можливе рішення багатокритеріальної задачі, що враховує згадані обмеження та інші їх складові.

В дипломній роботі розглянута трирівнева система підтримки технічного стану рухомого складу. Її структура приведена на рисунку 4.5. Вона включає в себе наступні складові:

- системи оперативного контролю та діагностування (бортові системи);
- системи і засоби періодичного контролю (переносні технічні засоби контролю та діагностування);
- засоби технологічного контролю та діагностування (стаціонарні установки).

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 4.5 – Трирівнева система технічного забезпечення надійності рухомого складу

Як видно з наведеного зображення (рис. 4.5), технічна система забезпечення якості є замкненою на рівнях прийняття рішень (організаційної) та інформаційної. Запропоновані системи і комплекси можуть служити підставою для складання більш загальних методик і стратегій управління надійністю транспорту. Вони можуть вважатися підставою для проведення політики управління надійністю, в тому числі оптимальних по одному з обраних критеріїв.

Висновки

В представленій дипломній роботі розглянуті нові технічні та технологічні рішення в галузі експлуатації та обслуговування тягового рухомого складу. Впровадження даних рішень вносить значний внесок у вдосконалення залізничного транспорту, що є досить актуальним для розвитку економіки та підвищення технічного рівня галузі.

У процесі вирішення завдань, поставлених в дипломній роботі, було проведено аналіз надійності залізничної техніки, що дозволяє визначити пріоритети в області регламентів обслуговування залізничної техніки. Розглянуто принцип оцінки функціональної надійності залізничної техніки, заснований на конвеєрній моделі технічних засобів транспорту.

Розглянуто імовірнісні методи оцінки надійності рухомого складу. При різних розподілах ймовірностей відмов можливе проведення оптимальних за часом і простору стратегій обслуговування рухомого складу.

Розглянуто та обґрунтовано комплексна система управління надійністю залізничної техніки, що забезпечує якісно новий підхід до вирішення задачі підвищення ресурсу транспорту.

На основі аналізу існуючих систем показана доцільність застосування трирівневої система контролю якості і управління її базових компонентів обслуговування та експлуатації залізничної техніки, зокрема рухомого складу.

Представлені загальні вимоги для розробки технологічних систем та пристроїв трьох рівнів (системи оперативного, періодичного та технологічного контролю).

Раціональне застосування зазначених приладів надасть можливість Укрзалізниці заощадити значні фінансові ресурси та вдосконалити систему технічного обслуговування та ремонту рухомого складу.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Список використаних джерел

1. Бирюков И. В. Механическая часть тягового подвижного состава / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; под ред. И. В. Бирюкова. М.: Транспорт, 1992. 440 с.
2. Галкин В.Г. и др. Надежность тягового подвижного состава / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. - М.: Транспорт, 1981.
3. Головаш А.Н. Комплексная трехуровневая система управления качеством подвижного состава // Железнодорожный транспорт. - 2003. - №8. - С. 64-65.
4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1990.
5. Дефектоскопия деталей локомотивов и вагонов: Под ред. Ф.В. Левыкина. - М.: Транспорт 1974.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1980. 25 с.
7. Находкин В. М. Технология ремонта тягового подвижного состава/ В. М. Находкин, Р. Г. Черепашенец. М.: Транспорт, 1998. 461 с.
8. Дёповской ремонт электровозов переменного тока / Под ред. А. Т. Головатого. М.: Транспорт, 1976. 440 с.
7. Стрельников В. Т. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов/ В. Т. Стрельников, И. П. Исаев. М.: Транспорт, 1980. 207 с.
8. Ильин В.А. и др. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог. - М.: Транспорт, 1983. - 315 с.
9. Савоськин А. Н. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак, А. П. Матвеевичев и др.; под общей ред. А. И. Савоськина. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту магістерської роботи
**«Аналіз можливостей підвищення ефективності струмознімання при
високошвидкісному русі рухомого складу»**

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		