

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет Львівського інституту
(назва факультету)

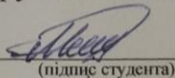
Кафедра «Рухомий склад залізниць і колія»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему: Підвищення надійності електричних апаратів електровозів у
локомотивному депо Львів-Захід

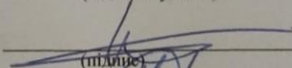
за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЛГ19117


(підпис студента)

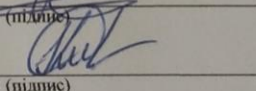
/ Володимир МАНДЗЮК /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ доцент Микола КУЗІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

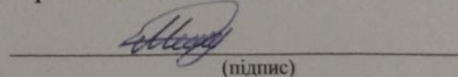
Нормоконтролер:


(підпис)

/ викладач Іван КРАВЕЦЬ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Львів – 2022 рік

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

Faculty of the Lviv institute

(faculty)

Railways rolling stock and track

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

bachelor

(higher education degree)

on the topic: Improving the reliability of electric apparatus of electric locomotives in the locomotive depot Lviv-West

according to educational curriculum Locomotives and locomotive economy

in the Speciality: 273 "Railway transport"

(speciality and its code)

Done by the student of the group: LG19117 /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Mykola KUZIN /

(position, name, surname)

Normative controller :

/ lecturer Ivan KRAVETS /

(position, name, surname)

ЗМІСТ

ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП	7
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ НАДІЙНОСТІ У СТОСУНКУ ДО	
ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ.....	9
1.1 ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ	9
1.2 КОРОТКИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРИЧНОЇ АПАРАТУРИ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	11
1.3 ЗАГАЛЬНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ	15
2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ	
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	19
2.1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ.....	19
2.2 МЕТОДИКА КЛІЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ	24
2.3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	28
3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ	
ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ.....	33
3.1 ОРГАНІЗАЦІЯ СТАНЦІЇ ВИПРОБУВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	33
3.2 ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ГОЛОВНИХ ВИМИКАЧІВ.....	37
3.3 ВПРОВАДЖЕННЯ СТЕНДА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ СЕЛЬСИНІВ	41
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	45
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	46

0041.190548.01.ВКР.ПЗ								
Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Підвищення надійності електричних апаратів електровозів у локомотивному депо Львів-Захід	Літера	Аркуш	Аркуші
Розробив		В. МАНДЗЮК	<i>[Signature]</i>	10.06				
Консульт								
Керівник		Микола КУЗІН	<i>[Signature]</i>					
Н. контр.		Іван КРАВЕЦЬ	<i>[Signature]</i>	14.06.12				
Зав. каф.		Олена БАЛЬ	<i>[Signature]</i>	18.06.12				
ЛІ УДУНТ								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

(рівень освіти)

48 с., 3 рис., 2 табл., 0 додатків, 10 джерел.

Об'єкт розробки – електричне обладнання електровозів.

Мета роботи – покращення ефективності експлуатації електровозів шляхом підвищення надійності їх електричних апаратів.

Методи дослідження – порівняльний метод, метод розрахунку показників надійності.

Проаналізовано конструкцію електрообладнання електровозів, розраховано основні показники надійності.

Показано, що що без профілактичних заходів за час виконання встановлених норм пробігів ймовірність безвідмовної роботи електровоза виявляється недопустимо низькою. Запропоновано заходи з підвищення надійності, серед яких: організація станції високовольтних випробувань, впровадження приладу для перевірки головних вимикачів, впровадження стенду для перевірки сельсинів.

Результати роботи можуть стати основою для аналогічних досліджень електрообладнання інших типів ЕРС, який буде поставлятися на залізниці України.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОРУХОМИЙ СКЛАД, ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, НАДІЙНІСТЬ, ПІДВИЩЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ.

**ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

БВП	Швидкодіючий повітряний вимикач
ВДМ	Вольтодобавочна машина
ВМ	Випрямний міст
ВОВ	Високовольтний повітряний вимикач
ЕКГ	Електричний груповий контактор
ЕРС	Електрорухомий склад
ІР	Індукційний регулятор
МК	Електромагнітний контактор
ПК	Пневматичний контактор
ПТЕ	Правила технічної експлуатації залізниць України
СРСР	Бувше державне утворення – Союз Радянських Соціалістичних Республік
ТР	Трансформатор
ТЦ	Тахометр цифровий

						Арк.
						7
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Більша частина масових перевезень вантажів в Україні здійснюється електровозами і частка електрифікованих залізниць у подальші роки буде зростати [1].

У той же час більшість парку електровозів в Україні складають електровози виробництва бувшого СРСР, які уже або відпрацювали свій ресурс або знаходяться на його межі. У таких умовах на перший план виходить питання забезпечення надійності електровозів.

Питаннями підвищення надійності рухомого складу займалися і продовжують займатися наукові колективи закладів вищої освіти та наукових установ як в Україні так і за кордоном.

Основи вітчизняної науки про надійність закладені у середині минулого століття. Працею, яка підсумувала наукові досягнення того часу є праця [2], яка являє собою довідник з питань розрахунку надійності на різних етапах розробки та експлуатації технічних систем.

Однією з ранніх праць, які присвячені питанням надійності машин, є праця [3]. У ній розглянуті основні проблеми надійності машин, які виникають на стадіях проектування, виготовлення та експлуатації. У праці розглянуто методи розрахунку та прогнозування надійності, моделі відмов, випробування на надійність, розрахунки на зношуванність, діагностування технічних пристроїв.

Працею, у якій конкретно розглядається надійність тягового рухомого складу, є праця [4]. У ній висвітлені основні положення теорії надійності та фактори, що впливають на надійність тягового рухомого складу залізниць. Також розглянута система кількісних показників надійності, методи їх визначення та аналізу і вказані основні шляхи підвищення надійності локомотивів.

Питання надійності також розглядалися і за кордоном. Так однією з перших праць, у якій були систематизовані набуті на той час знання по надійності, є праця [5]. Заслуговує на увагу також пізніша праця [6], у якій в доступній формі викладені основи моделювання надійності складних систем. При цьому автори

						Арк.
						8
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

головну увагу приділяють структурним концепціям а не окремим частковим питанням. Застосування моделей супроводжується прикладами з області електроспоживання, транспортного обслуговування, обчислювальної техніки.

У Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, який у теперішній час увійшов до складу Українського державного університету науки і технологій виконано ряд праць, що присвячені питанням надійності окремих складових електрорухомого складу. Так, у праці [6] проведено аналіз особливостей роботи та видів відмов контакторів ЕКГ-8Ж та ПК-96-101 електровозів змінного струму. Розроблено методику і проведено чисельну порівняльну оцінку технологічної та експлуатаційної стабільностей, а також показників параметричної надійності контактів за критерієм зношування контактів. Праця [7] присвячена питанням підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування з урахуванням їх технічного стану. Автором розроблена класифікаційна схема устаткування електровоза, яка побудована за принципом структурного розподілу складних систем на частини. Питанням надійності окремих вузлів і систем електрообладнання ЕРС присвячені також праці [8-10] та ін.

Таким чином аналіз сучасного стану електровозного парку України та літературних джерел, що присвячені проблемі підвищення експлуатаційної надійності електровозів показує, що тема випускної кваліфікаційної роботи є актуальною.

Метою кваліфікаційної роботи є покращення ефективності експлуатації електровозів шляхом підвищення надійності їх електричних апаратів.

Для досягнення вказаної мети необхідно проаналізувати рівень надійності електровозів, розрахувати основні показники надійності та запропонувати заходи з її підвищення.

						Арк.
						9
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ НАДІЙНОСТІ У СТОСУНКУ ДО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

1.1 Основні терміни та визначення надійності

Надійність локомотивів - одна з актуальних проблем залізничного транспорту. Для вирішення цієї проблеми велике значення має теорія надійності. Використовуючи положення теорії надійності, можна розробити науково обгрунтовану систему заходів, здійснення якої при дотриманні вимог безпеки руху забезпечує нормальну роботу локомотивів з найменшими витратами. Ця система повинна охоплювати всі періоди «життя» локомотива - проектування, виготовлення, експлуатацію і ремонт.

Основні поняття і визначення теорії надійності технічних пристроїв сформульовані в ГОСТ 13377 - 75 «Надійність в техніці. Терміни і визначення». На базі цього ГОСТу розроблений і затверджений ОСТ24.040.03 - 79 «Тяговий рухомий склад залізничного транспорту. Надійність. Терміни і визначення».

На підставі цих державних стандартів встановлені відповідні поняття стосовно електричного рухомого складу. Це перш за все три основні терміни, що відносяться як до окремих вузлів, так і локомотива в цілому: властивість, стан і подія.

Властивість локомотива виконувати тягові функції, зберігаючи свої параметри у встановлених межах протягом заданого часу, є його надійністю.

Надійність - властивість комплексна, залежна від складових властивостей, а саме: безвідмовності, ремонтнопридатності, довговічності і збережуванності.

Безвідмовність - властивість локомотива зберігати працездатність протягом заданого часу без вимушених перерв на ремонт. Відмови локомотива усувають в процесі ремонту, відновлюючи його працездатність. Отже, тільки властивість безвідмовності не повністю характеризує надійність відновлюваних систем або вузлів. Тому вводять поняття властивість ремонтнопридатності.

Ремонтнопридатність - це пристосованість даного вузла, деталі або системи до виявлення і усунення відмов шляхом проведення технічного обслуговування

						Арк.
						10
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

і виконання ремонту. Проте властивість ремонтпридатності не визначає процесу відновлення працездатності, оскільки сам процес ремонту йде по своїх законах. Для опису цих законів вводять поняття відновлюваності.

Довговічність - здатність вузла, деталі або локомотива зберігати свою працездатність до граничного стану з необхідними перервами на ремонт. Довговічність визначається двома умовами: або фізичним, або моральним зносом. Фізичний знос наступає у тому випадку, коли подальший ремонт і експлуатація стають вже не вигідними, оскільки витрати перевищують дохід в експлуатації; моральний знос означає невідповідність параметрів локомотива сучасним умовам їх експлуатації.

Збережуваністю називають властивість локомотива безперервно зберігати свій справний і працездатний стан протягом встановленого часу транспортування або знаходження в резерві.

Стан локомотива може бути працездатним, непрацездатним, справним, працездатним і несправним, несправним і непрацездатним.

При справному стані локомотив відповідає всім вимогам ПТЕ. Стан локомотива вважають несправним, якщо він не відповідає хоч би одній з вимог ПТЕ. Наприклад, несправні звукові сигнали в діючій кабіні машиніста, решта всього устаткування справна і може працювати з повним навантаженням. Такий локомотив працездатний, але несправний. Інший приклад - розбито лобове скло в кабіні машиніста, все механічне і електричне устаткування справне. Локомотив знаходиться також в працездатному, але несправному стані.

Подія - це перехід локомотива з одного можливого стану в інший.

Прикладом події є відмова, та пошкодження. *Відмовою* називають порушення працездатного стану, внаслідок чого локомотив повністю або частково втрачає свої тягові властивості. Разом з відмовою розрізняють також пошкодження. Неістотне пошкодження не порушує працездатність (наприклад, перегоріла сигнальна лампа), істотне ж пошкодження є відмовою.

Наслідками відмов є: невиконання заданих показників по масі состава, швидкості, часу ходу, часу стоянок; відновлення на шляху прямування, навіть

						Арк.
						11
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

без порушення графіка руху; неплановий ремонт; дострокова заміна вузла; завищений об'єм планового ремонту, точніше завищений об'єм робіт при плановому ремонті.

1.2 Короткий огляд електричної апаратури електровозів

В електровозах застосовуються електричні апарати і прилади різного призначення.

До них належать: струмоприймачі; індивідуальні контактори; групові контактори і перемикачі; головний контролер; швидкодіючі вимикачі та захисна апаратура; реверсор; резистори; контролер машиніста (контролер управління); реле і вимірювальні прилади.

Струмоприймачі (пантографи) призначені для знімання струму з провідів контактної мережі в умовах великої швидкості і значного струмового навантаження. На електровозі їх установлюють два: один працює, другий — в резерві. Іноді піднімають і два, наприклад, для зменшення іскріння під час ожеледиці. За конструкцією бувають двоважільні та чотириважільні.

Двоважільні струмоприймачі з одним полозком установлюються на електровозах змінного струму, а чотириважільні з двома полозками на електровозах постійного струму.

В полоз струмоприймача вставляються змінні контакти, накладки з міді, виготовлені методом порошкової металургії, вугільні вставки чи металокерамічні пластини.

Щоб ковзання полоза по контактному проводі було без іскріння, полоз повинен постійно тиснути з постійною розрахунковою силою на провід. Для цього струмоприймач має пневматичний привод і пружини.

Перемикання в силових електричних ланцюгах здійснюється за допомогою індивідуальних електропневматичних і електромагнітних контакторів, групових контакторів і контролерів із застосуванням різних видів систем дистанційного управління, перемикачів і вимикачів з дистанційним управлінням.

						Арк.
						12
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Основна вимога до цих приладів — це їх надзвичайно велика швидкість вмикання і вимикання для уникнення процесу дугоутворення.

На електрорухомому складі найбільш поширені індивідуальні електропневматичні контактори типу ПК і електромагнітні контактори типу МК-63. Контакттор типу ПК має дугогасильні пристрої, пневматичний привод з електромагнітним вентилем, на якому установлені блок-контакти. Така конструкція дозволяє миттєво вмикати і вимикати контакти, попереджувати і гасити дугу.

Електромагнітні контактори застосовують у допоміжних електроланцюгах високої напруги, можуть бути одно- і двополюсними, з дугогасінням і без нього, з електричним блокуванням і без нього.

Групові контактори (контролери) об'єднують ряд контакторів такої ж у принципі будови і дії за допомогою кулачкових приводів. Вони застосовуються для перемикавання ступенів пускових резисторів, регулювання тягових двигунів, ослаблення збудження, перемикавання ступенів напруги тягового трансформатора.

Перемикаються групові контактори за допомогою електропневматичних і електромагнітних приводів. На електровозах постійного струму найчастіше встановлюються двопозиційні групові контактори ПКГ-6; на моторних вагонах електропоїздів, де їх необхідно розміщати під вагонами, застосовуються малогабаритні багатопозиційні контактори; на електровозах ВЛ60К і ВЛ80 — головні контролери (групові контактори для перемикавання ступенів напруги трансформатора) типу ЕКГ-8 (рис. 4.24). Головний контролер має 30 кулачкових контакторів без дугогасіння і 4 — з дугогасінням, кулачкові вали і так звані серводвигун (від англ. Serve — обслуговувати).

До захисної апаратури на електрорухомому складі належать швидкодіючі вимикачі і контактори, високовольтні повітряні вимикачі, автоматичні вимикачі, розрядники, плавкі запобіжники, захисні реле тощо. Вони призначені для захисту від перенапруження, порушення режимів охолодження, пробною ізоляції і напівпровідникових приладів, короткого замикання, перевантаження

						Арк.
						13
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

тягових двигунів і допоміжних машин та інших ситуацій з виникненням аварійного режиму, небезпеки для основного обладнання і в цілому для електровоза. Всі ці пристрої діють на головний швидкодіючий вимикач, після спрацювання якого припиняється живлення електроенергією електровоза чи електропоїзда.

Швидкодіючі вимикачі різних конструкцій типу БВП-3, БВП-5 застосовуються для захисту силових електроланцюгів постійного струму, високовольтні головні вимикачі типу ВОВ-25-4 — змінного струму. Вимикач ВОВ-25-4 має роз'єднувач і розривні дугогасильні контакти, які установлені в горизонтальному ізоляторі, що одночасно є дугогасильною камерою. Механізми вмикання і вимикання розміщені в так званому силуміновому корпусі, який закріплений на даху електровоза чи моторного вагона. При ввімкненому положенні ніж з'єднується з контактом, при відімкненому — із заземленим кронштейном. Час спрацювання вимикача при короткому замиканні не більше 0.004 с.

Ряд швидкодіючих контакторів на електровозах і електропоїздах устатковуються для захисту тягових двигунів і випрямних пристроїв. Для захисту допоміжних електроланцюгів застосовують вимикачі менших розмірів з електромагнітним приводом, а електроланцюгів управління — автоматичні вимикачі більш простої конструкції.

Розрядники призначені для захисту електрообладнання від перенапруження. В них використовується властивість напівпровідникових керамічних матеріалів (суміш карборунда, графіту і глини) зменшувати опір при підвищенні напруги.

Плавкі запобіжники також використовують для захисту електроланцюгів високої і низької напруги від перевантаження і коротких замикань переважно в електроланцюгах допоміжних і управління. Вставлені в патрон плавкі пластинки перегорять, дуга швидко гаситься між пісчинками, одночасно перегоряє дротик, на якому кріпиться патрон. Час спрацювання 0,02 с.

Реверсори призначені для реверсування зміни напрямку обертання тягових

						Арк.
						14
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

двигунів.

Реверсування може здійснюватись двома способами: зміною напрямку струму в обмотках збудження, не змінюючи його напрямку в обмотках якоря, і навпаки. На електровозах, як правило, для реверсування двигунів змінюють напрямок магнітного потоку, тобто струму в обмотках збудження, за допомогою спеціального апарату — реверсора кулачкового типу з контактними елементами, які приводяться в дію кулачковим валом таким же чином, як і в групових перемикачах.

Реверсор, який змінює напрямок обертання якорів тягових двигунів і тим самим напрямок руху електровоза, перемикається тільки під час стоянки і відсутності струму в силових ланцюгах, інакше в тягових двигунах можуть з'явитись великі струми, що приведуть до пошкодження двигунів і реверсора.

Резистори в електровозах і в електропоїздах застосовують в силових електроланцюгах для пуску тягових двигунів (пускові

Контролер машиніста (контролер управління) призначений для дистанційного управління роботою тягових двигунів при пуску, електричному гальмуванні і реверсуванні, та перемикання силових електроланцюгів при регулюванні швидкості електровоза.

На електровозах постійного струму, а також на електровозах змінного струму ВЛ60К, ВЛ80К (без електричного гальмування) контролер машиніста (рис. 4.28) виконують з двома валами: головним і реверсивним, суміщеним з валом ослаблення збудження. Контролер має дві рукоятки управління — головну, за допомогою якої здійснюється пуск і регулювання (має багато позицій), і реверсивну, яка має три позиції («вперед», «на місці», «назад»). Реверсивна рукоятка може зніматись (при нульовому положенні) і цим самим блокувати роботу головної рукоятки і всього контролера.

На електровозах ВЛ80Т, ВЛ80С, ВЛ80Р з електричним гальмуванням контролер має три вали: головний, реверсивний і гальмовий.

Так на електровозі ВЛ80Р контролер машиніста має головну рукоятку у вигляді штурвала з покажчиком зон і положень, гальмову рукоятку з

						Арк.
						15
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

показчиком положень електричного гальмування. Реверсивна рукоятка вставляється у спеціальний виріз гальмового вала, а на плиті контролера влаштований показчик положень реверсора.

Реле в електроланцюгах електровоза призначені для автоматизації процесів управління, захисту електрообладнання тощо. За характером будови і дії бувають електричні, теплові, пневматичні. До найбільш важливих реле електровозів можна віднести: реле максимального струмового захисту, реле перенавантаження тягових двигунів, диференціальні реле для виявлення замикання на землю в електричних машинах, реле прискорення та гальмування, реле буксування для сигналізації про буксування, реле введення резисторів для обмеження струму, реле подачі піску на рейки, інші реле і електромагнітні вентилі.

Вимірювальні прилади призначені для контролю за роботою електричного обладнання електровозів і електропоїздів: амперметри, вольтметри, лічильники електроенергії. Вимірювальні контрольні прилади розміщуються на пульті в кабіні машиніста, деякі у високовольтній камері.].

1.3 Загальні напрямки підвищення надійності

Складність устаткування електрорухомого складу та інтенсивність його використання часто випереджають якість використовуваних елементів і технологію їх виготовлення. Це одна з істотних причин недостатньої надійності е.р.с. деяких серій. Крім того, перевантаження е.р.с., що необгрунтовано допускаються в експлуатації, також знижують його надійність. Тому, щоб е.р.с. не виявився практично непрацездатним із-за частих відмов в експлуатації, потрібна розробка заходів щодо підвищення його надійності: підвищення якості проектування, забезпечення строгої технологічної і виробничої дисципліни, неослабного контролю за якістю продукції, введення обгрунтованих нормативів на технологію і матеріали. Здійснення цих заходів залежить перш за все від заводів - виготівників е.р.с. При цьому розробка таких нормативів і стандартів повинна бути заснована не на рівні виробництва, що існує на підприємстві, а на

						Арк.
						16
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

показниках надійності кращих зразків е.р.с, досягнутих у нас і за кордоном.

Необхідним заходом забезпечення надійності є випробування вузлів устаткування і конструкції головних зразків е.р.с. на стадії їх проектування в умовах, відтворюючих фактичні електричні, механічні і теплові режими їх роботи. При цьому велике значення мають прискорені і форсовані випробування.

Надійність е. р. с. залежить також від умов експлуатації, режимів руху поїздів, якості технічного обслуговування і ремонту. Необґрунтоване прагнення перенавантажувати локомотив в надії провести по ділянці поїзд великої маси насправді призводить до різкого зниження надійності локомотива і збільшення числа його відмов.

Аналіз усіх факторів, що впливають на надійність е. р. с, показує, що способи підвищення надійності можна розділити на дві групи заходів: направлені на підвищення безвідмовності і на підвищення ремонтпридатності (відновлюваності). Їх реалізація дає найбільший ефект при системному підході до проблеми забезпечення надійності, який полягає в узгодженому здійсненні заходів в процесі проектування, виготовлення і експлуатації локомотивів (лист 3).

До важливих заходів щодо підвищення надійності е. р. с, крім проектування і технології поліпшення виготовлення, відноситься вдосконалення схем силових кіл і кіл управління. За наявності ряду лімітуючих чинників (массо-габаритні показники, вартість, якість деталей і т.п.) проектувальник вимушений застосовувати далеко не кращі з погляду надійності елементи, що поставляються промисловістю. Відповідальні вузли схем зазвичай проектують з елементів, що мають незначну розбіжність параметрів. В протилежність цьому схеми, побудовані з елементів, що допускають нормальну роботу при широких межах зміни їх параметрів, забезпечують надійність навіть при використанні малостабільних елементів в різних умовах експлуатації. Це особливо важливо для систем управління локомотивами коли випадкові перешкоди, коливання живлячої напруги, зміни температури, вологості можуть привести до відмов,

						Арк.
						17
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

які важко виявляються.

Відомо, що резервування і застосування систем вбудованого автоматичного контролю є ефективними схемними методами підвищення надійності. Проте в даний час ці методи не знайшли ще широкого застосування при проектуванні і створенні локомотивів, по-перше, через відсутність таких бортових систем контролю і, по-друге, із-за обмеження масо-габаритних показників для розміщення таких систем. Крім того, резервування є досить ефективним способом підвищення надійності систем короткочасної дії. Для локомотивів, що є пристроями довготривалої дії, не менше значення для підвищення надійності мають використання елементів високого класу, застосування печатних схем, блокових принципів побудови вузлів, мікропроцесорів, періодична заміна небезпечних в сенсі відмови елементів і блоків, забезпечення їх високої ремонтоздатності і т.п.

Уніфікація елементів і вузлів локомотивів полегшує рішення організаційних задач забезпечення надійності і, зокрема, постачання запасними частинами.

Оскільки сучасні, а тим більше перспективні локомотиви характеризуються збільшенням потужності і розширенням діапазону регулювання режимів роботи, то особливого значення набувають дослідження процесів старіння і зносу. У цих умовах підвищення надійності досягають тренуванням елементів і вузлів на спеціальних стендах, при яких скорочується час їх припрацювання за рахунок важчих випробувальних режимів.

Надійність електричного і електронного устаткування локомотивів в експлуатації істотно залежить від температурного режиму. Збільшення складності і прагнення до зменшення масо-габаритних показників пристроїв електроустаткування приводить до концентрації високих температур. Тому при розрахунку надійності і виготовленні таких пристроїв серйозна увага повинна бути приділена відведенню тепла і попередженню появ шкідливих наслідків нагріву. Крім теплового чинника, в умовах експлуатації має великий вплив на надійність локомотивів і інший чинник - механічні навантаження, обумовлені ударами і вібраціями. Попередження наслідків цих двох чинників складає

						Арк.
						18
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

основу заходів щодо підвищення надійності локомотивів.

Слід враховувати кваліфікацію обслуговуючого і ремонтного персоналу, що впливає на надійність локомотивів і, зокрема, на час їх відновлення. Оптимізація процесів виготовлення і технічного обслуговування на основі наукової організації праці є істотним чинником підвищення надійності локомотивів [7].

						Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		19

2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

2.1 Загальні принципи розрахунку надійності

Для розрахунку показників надійності широко використовують положення теорії ймовірностей і в першу чергу ті, що визначають ймовірність настання складних подій [7].

Оскільки прийнято, що потік відмов локомотива утворений подіями незалежними і без наслідків, то приведемо спочатку два положення теорії ймовірності, на підставі яких визначимо ймовірність настання таких складних подій, як суми і добутки вихідних подій. Заздалегідь дамо формулювання цих подій.

Складна подія A , що полягає в тому, що відбудеться або подія A_1 або A_2 ..., або A_n , називають сумою вихідних подій і позначають як

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \sum_1^n A_i .$$

При цьому ймовірність суми n несумісних подій рівна сумі ймовірностей цих подій:

$$P(A) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) = \sum_1^n P(A_i) \quad (2.1)$$

Складну подія A , що полягає в одночасному здійсненні (збігу) декількох подій, називають добутком вихідних подій A_j і позначають як $A = A_1 A_2 \dots A_r =$

$$\prod_1^m A_j .$$

Вірогідність добутку несумісних подій рівна добутку вірогідностей цих подій:

$$P(A) = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_m) = \prod_1^m P(A_j) . \quad (2.2)$$

						Арк.
						20
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Оскільки за час роботи локомотив може знаходитися в декількох станах, а перехід з одного стану в інший є подією, то ймовірність нормального функціонування локомотива в даному проміжку часу визначають як ймовірність добутку незалежних подій по формулі (1,7), а для всього часу роботи - по формулі (1,6) як суму добутків ймовірності нормального функціонування локомотива в кожному проміжку часу. Згідно цього загальна структура формули ймовірності нормального функціонування локомотива матиме вигляд

$$P(A) = \sum_1^n \sum_1^m P(A_{ij}). \quad (2.3)$$

Скористаємося формулою (2.3) для визначення ймовірності нормального функціонування локомотива, вважаючи, що за час t він може знаходитися поки лише в двох можливих станах: працездатному і справному, а також в несправному і непрацездатному (стані відмови). Відновлення справного працездатного стану після i -ої відмови відбувається за час $\tau_i < \tau_0$, де τ_0 - допустимий час простою локомотива на лінії.

Схема можливих ситуацій представлена на рис. 5.1, де позначено: t_0 - час витребування локомотива до поїзда (час, до якого локомотив повинен бути на контрольному пункті); t - планове закінчення часу роботи локомотива; $t = t - \tau_0$ - оперативний час, для якого визначають показники роботи локомотива; τ_0 - час, що проходить з моменту витребування локомотива до моменту відновлення його справного стану (у тих випадках, коли локомотив не готовий до моменту t_0).

Вважатимемо, що сумарний час відновлення справного стану локомотива на лінії значно менше оперативного часу, тобто $\sum_1^n \tau_i \ll t$.

Це означає, що «чистий» час роботи локомотива після усунення наслідків відмов ще достатній для виконання планового завдання по перевезеннях. Тоді

						Арк.
						21
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

для ймовірності безвідмовної роботи локомотива за «чистий» час його роботи, тобто виключаючи час відновлення приблизно можна прийняти, що

$$P\left(t - \sum_1^n \tau_i\right) \approx P(t).$$

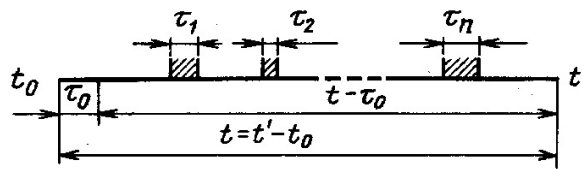


Рисунок 2.1 – Схема можливих ситуацій на протязі оперативного часу роботи локомотива

Це означає, що ймовірність безвідмовної роботи локомотива після відновлення його справного стану після 1-ої відмови рівна ймовірності його безвідмовної роботи за відсутності відмови. Крім того, оскільки згідно умови час відновлення τ_i малий, то приблизно приймемо ймовірність відновлення справного стану після кожної відмови однаковими і рівними ймовірності відновлення за допустимий час простою локомотива на лінії: $\nu(\tau_1) \approx \nu(\tau_2) \approx \dots \approx \nu(\tau_n) \approx \nu(\tau_0)$.

Розглянемо наступні можливі ситуації по схемі рис. 1,1 і визначимо ймовірність нормального функціонування локомотива стосовно кожної з них:

- локомотив справний до моменту t_0 і не відмовить за час t ,
- локомотив справний до моменту t_0 , але має $i = 1, 2, \dots, n$ відмов, після яких відновлення працездатного, справного стану відбувається за час $\tau_i < \tau_0$;
- локомотив несправний до моменту t_0 , але відновлюється за час $\tau_0 \ll t$.

У нормальних умовах експлуатації і ремонту локомотивів третя ситуація виникає рідко і тому надалі її враховувати не будемо. Знайдемо ймовірність нормального функціонування локомотива у двох перших ситуаціях.

Ймовірність нормального функціонування в першій ситуації визначимо на підставі формули (1,7) у вигляді добутку ймовірності безвідмовної роботи за час t і ймовірності готовності до моменту t_0 (добуток тому, що він означає

						Арк.
						22
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

одночасність наявності даних властивостей локомотива - його безвідмовної роботи і готовності) :

$$P_{нф}(t) = P_0(t) \cdot P(t). \quad (2.4)$$

У другій ситуації локомотив готовий до моменту t_0 , але має n відмов у випадкові моменти t_1, t_2, \dots, t_n .

Розглянемо спочатку ймовірність нормального функціонування електровоза після відновлення його справного стану після 1-ої відмови. Ймовірність виникнення першої відмови $Q(t_1) = 1 - P(t_1)$, ймовірність виникнення другої відмови $Q(t_2) = 1 - P(t_2)$ і аналогічно i -ої відмови $Q(t_i) = 1 - P(t_i)$. Припустимо далі, що ймовірність настання відмов однакова: $Q(t_1) = Q(t_2) = \dots = Q(t_n) = Q(t)$ і, крім того, $\nu(\tau_1) = \nu(\tau_2) = \dots = \nu(\tau_n) = \nu(\tau_d)$. Отже, ймовірність будь-якої відмови $Q(t) = 1 - P(t)$. Тоді ймовірність нормального функціонування локомотива по відновленню справного стану після першої відмови $P_{нф1}(t)$ буде рівна добутку (одночасні події) ймовірності готовності $P(t_0)$ локомотива до моменту t_0 , ймовірності $1 - P(t)$ настання першої відмови, ймовірності $\nu(\tau_1) = \nu(\tau_d)$ відновлення справного стану локомотива після першої відмови і ймовірності $P(t - \tau_1) = P(t)$ безвідмовної роботи за час після першої відмови, тобто

$$P_{нф1}(t) = P(t_0) \cdot [1 - P(t)] \cdot \nu(\tau_d) \cdot P(t). \quad (2.5)$$

Ймовірність нормального функціонування локомотива при настанні другої відмови визначимо як ймовірність одночасної події, що полягає в збігу ймовірності $P_{нф1}(t)$ і ймовірності відмови $Q(t_2) \cong Q(t) = 1 - P(t)$:

$$P_{нф21}(t) = P_{нф1}(t) \cdot Q(t) = P_{нф1}(t) [1 - P(t)]. \quad (2.6)$$

						Арк.
						23
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

По відновленню справного стану локомотива після другої відмови ймовірність його нормального функціонування

$$P_{нф2}(t) = P_{нф21}(t) \cdot \nu(\tau_\delta) = P_{нф1}(t) [1 - P(t)] \cdot \nu(\tau_\delta). \quad (2.7)$$

Підставляючи в цей вираз значення $P_{нф1}(t)$, маємо

$$P_{нф2}(t) = P(t_0) \cdot [1 - P(t)]^2 \cdot [\nu(\tau_\delta)]^2 \cdot P(t). \quad (2.8)$$

Міркуючи аналогічно, знайдемо ймовірність нормального функціонування локомотива по відновленню його нормального стану після n -ої відмови:

$$P_{нфn}(t) = P(t_0) \cdot [1 - P(t)]^n \cdot [\nu(\tau_\delta)]^n \cdot P(t). \quad (2.9)$$

Оскільки локомотив може знаходитися в будь-якій з цих ситуацій, то для визначення ймовірності нормального функціонування скористаємося ймовірністю суми вихідних подій (можливо або той, або інший, або n -ий стан). Згідно цього підсумуємо усю ймовірність нормального функціонування як складної події - від справного стану до відновлення після n -ої відмови. Отримаємо

$$P_{нф}(t) = P(t_0) \cdot P(t) \left\{ 1 + \sum_1^n [\nu(\tau_\delta)]^k \cdot [1 - P(t)]^k \right\} \quad (2.10)$$

де $1 \leq k \leq n$.

Таким чином, співвідношення (1,15) визначає ймовірність того, що стосовно даних ситуацій завдання по перевезеннях не буде зірвано із-за ненадійності локомотива.

Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата

Вище всі показники надійності представлені у функції часу роботи локомотива. Ці ж показники можна розглядати як функції пробігу, відповідного даному моменту часу. Методи розрахунку залишаються тим самим.

Принциповий графік зміни $P_{нф}(t)$ поданий на рис. 1,2, де $t_1, t_2, t_3 \dots$ - часи настання першої, другої, третьої ... відмов; τ_1, τ_2, τ_3 - час відновлення справного стану електровоза після відповідних відмов; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ - ймовірність нормального функціонування електровоза, відновлюваного після відповідних відмов.

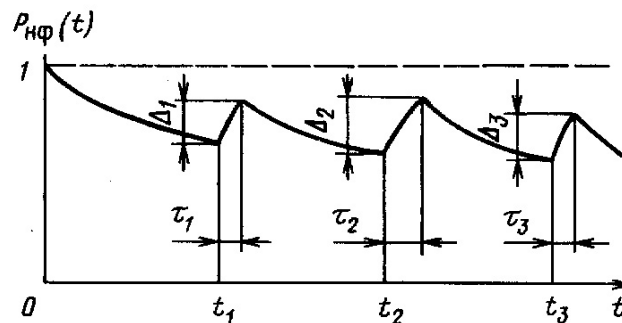


Рисунок 2.2 - Графік зміни ймовірності нормального функціонування локомотива

2.2 Методика кількісної оцінки показників надійності

Для кількісної оцінки надійності недостатньо загальних визначень. Треба встановити кількісні показники вказаних вище властивостей локомотива. Оскільки всі дані події є випадковими (відбуваються у випадкові моменти часу), то доцільно для їх кількісної оцінки використовувати положення теорії ймовірності. При цьому кількість показників повинна бути мінімальною, вони повинні мати чіткий і ясний зміст, охоплювати всі стадії «життя» локомотива (проекування, виготовлення, експлуатацію і ремонт). Визначення їх повинно здійснюватися з мінімальною витратою праці і засобів при використанні сучасної обчислювальної техніки.

						Арк.
						25
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Кількісним показником (мірою) безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи за час t :

$$P\{T > t\}, \quad (2.11)$$

тобто час безвідмовної роботи T буде більше заданого часу t . З метою скорочення умову (2.11) записують у вигляді $P(t)$.

На підставі умови (2.11) не можна наперед сказати, скільки часу локомотив пропрацює безвідмовно, але можна визначити ймовірність $P(t)$ того, що він не відмовить за заданий час t . Ця ймовірність є важливою характеристикою надійності локомотива.

Кількісною мірою порушення безвідмовності є ймовірність відмови:

$$Q\{T < t\} \quad (2.12)$$

тобто час безвідмовної роботи T не більше заданого часу t , або, іншими словами, відмова наступить скоріше, ніж локомотив пропрацює заданий час t . Умову (2.12) скорочено записують як $Q(t)$.

Оскільки подія, що полягає в порушенні безвідмовності, є відмовою, то сума протилежних подій:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (2.13)$$

З рівняння (2.13) виходить, що $Q(t) = 1 - P(t)$ або $P(t) = 1 - Q(t)$.

Кількісним показником готовності локомотива у момент t_0 витребування його до поїзда є ймовірність його готовності або ймовірність справного стану до цього моменту, яку записують у вигляді $P(t_0)$.

Кількісною мірою працездатного стану локомотива може служити коефіцієнт готовності k_r , - ймовірність того, що локомотив працездатний в довільно вибраний момент часу.

						Арк.
						26
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Кількісною мірою використання локомотива служить коефіцієнт використання $k_{\text{в}}$ або ймовірність того, що локомотив працює у будь-який момент даного періоду експлуатації.

Кількісним показником ймовірності відновлення за час ремонту τ є ймовірність відновлення працездатного стану локомотива за цей час, яку записують у вигляді $\nu(\tau \leq \tau_n) = \nu(\tau)$, тобто час відновлення τ не перевищить нормативний час τ_n .

Ймовірність того, що локомотив знаходиться в даний момент на відновленні, називають коефіцієнтом ремонтпридатності k_p .

Показниками ремонтпридатності, крім вірогідності відновлення $\nu(\tau)$ і коефіцієнта ремонтпридатності, служать також середня і питома трудомісткості (вартості) технічного обслуговування і ремонту даного вигляду, що характеризують витрати часу на виконання ремонтних операцій.

Питома трудомісткість відновлення являє собою витрати праці на ремонт даного виду, віднесені до напрацювання T локомотива за звітний період:

$$w_{\text{num}} = \frac{1}{T} \int_0^{w_{\text{max}}} wp(w)dw \quad (2.14)$$

де w - випадкове значення трудомісткості ремонту даного виду;

$p(w)$ - щільність розподілу трудомісткості ремонту даного виду. Середня трудомісткість ремонту даного виду:

$$w_{\text{num}} = \int_0^{w_{\text{max}}} wp(w)dw. \quad (2.15)$$

Кількісним показником довговічності служить призначений гамма-ресурс, тобто пробіг локомотива від початку експлуатації до списання незалежно від його технічного стану.

						Арк.
						27
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

При цьому γ (гамма) означає відсоток локомотивів, пробіг яких до списання повинен бути не менше встановленого. Гамма-процентний ресурс пов'язаний з напрацюванням T_0 локомотива до його списання співвідношенням:

$$\frac{\gamma}{100} = 1 - \int_0^{T_0} p(T) dT \quad (2.16)$$

де $p(T)$ - щільність розподілу напрацювання локомотивів за час від початку експлуатації до їх опису.

Узагальнювальним показником надійності є ймовірність нормального функціонування локомотива, яку позначають у вигляді $P_{нф}(t)$. Ймовірність нормального функціонування - це ймовірність того, що планове завдання по перевезеннях не буде зірвано із-за порушення справного стану локомотива, тобто його відмови.

Найважливішим поняттям в теорії надійності є відмова. Оскільки відмови локомотивів являють собою одиничні явища, користуються для кількісного визначення показників надійності поняттям потоку відмов, запозиченим з теорії масового обслуговування, що має перевірені практикою методи рішення подібних задач. При цьому вважають потік відмов простим, тобто припускають, що в експлуатації мають місце наступні умови:

Ймовірність відмови не залежить від вибору початку відліку часу (або пробігу), а залежить тільки від тривалості інтервалу часу (пробігу), протягом якого ведеться відлік. Ця умова означає, що щільність потоку відмов постійна (закон розподілу числа відмов в будь-якому проміжку часу не залежить від вибору початку і кінця проміжку, а тільки від його тривалості). Такий потік називають стаціонарним.

Ймовірність одночасної появи двох і більше відмов одного локомотива рівна нулю, тобто неможлива одночасна поява декількох відмов локомотива. Такий потік називають ординарним.

						Арк.
						28
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Закон розподілу числа відмов в будь-якому проміжку часу (пробігу) не залежить від того, які були відмови до і після цього проміжку. Його називають потоком без наслідку.

Результати статистичної обробки даних про відмови локомотивів показують, що припущення про стаціонарність потоку відмов локомотивів більш менш виправдовується в період нормальної експлуатації. Умова ординарності цього потоку виправдовується тільки для первинних відмов, під яким розуміють відмову даного вузла, що викликала відмову іншого вузла (або вузлів). Так, наприклад, відмова тягового двигуна електровоза при неспрацьовуванні реле перевантаження є вторинною, тоді як первинною є відмова реле перевантаження. Ми розглядатимемо тільки первинні відмови, оскільки саме вони є причинами порушення надійності локомотивів. Відмови - події випадкові. Тому час настання відмови - теж випадкова величина, яка може приймати значення $t_1; t_2 \dots, t_n$.

При визначенні показників надійності виходять із закономірностей випадкового виникнення відмов. У основі цих закономірностей лежить характеристика потоку відмов. Вона вважається заданою, якщо відомий час і вірогідність виникнення кожної відмови.

Причиною відмови можуть бути недоліки проектування, конструкції, якості виготовлення, порушення правил обслуговування і ремонту, дія непередбачених розрахунком механічних і електричних навантажень, вплив кліматичних умов, природні процеси зношування устаткування і вузлів, а також старіння матеріалів.

2.3 Розрахунок основних показників надійності електровозів

Для визначення кількісної оцінки надійності існуючого рухомого складу використовуємо встановлені наказом 440/Н пробіги між ремонтами. За середній час безвідривної роботи рпиймемо час роботи між ремонтами з найбільшим об'ємом робіт. Для електровозів в теперішній час встановлена норма пробігів

						Арк.
						29
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

для ПРЗ 350000 км, але начальником служби вона може бути збільшена на 20% і буде становити 420000 км.

Для визначення часу безвідмовної роботи слід вести диференціальну оцінку часу роботи в залежності від частки участі обладнання в роботі і від інтенсивності навантаження головних агрегатів електровоза. При включенні допоміжних машин ймовірність виходу з ладу підвищується внаслідок збільшення числа працюючих елементів системи. При маневровому русі і виконанні резервних поїздок відбувається подальше збільшення ймовірності відмови зрахунок підключення агрегатів силового кола і апаратів управління тягою. Ймовірність появи відмови при нормальних умовах експлуатації буде збільшуватись при розгоні або веденні потягу нормальної ваги на розрахунковому пійомі ділянки.

На ділянці, яку ми розглядаємо середня технічна швидкість рівна 60 км/год, а коефіцієнт ділянкової швидкості рівний 0,9. тоді ділянкова швидкість визначається за формулою:

$$V_{\text{дiл}} = \beta_{\text{дiл}} \cdot V_m, \quad (2.17)$$

де $\beta_{\text{дiл}}$ – коефіцієнт ділянкової швидкості;

V_m – технічна швидкість, км/год.

$$V_{\text{дiл}} = 60 \cdot 0,9 = 54 \text{ км/год.}$$

Час роботи електровоза на ділянках при слідуванні з поїздами визначається за формулою:

$$T_{\text{дiл}} = \frac{T_{\text{вст}}}{V_{\text{дiл}}}, \quad (2.18)$$

де $T_{\text{вст}}$ – встановлена норма пробігу для ПР1, км;

						Арк.
						30
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

V_{dil} – ділянкова швидкість, км/год.

$$T_{dil} = \frac{420000}{54} \approx 7778 \text{ годин.}$$

Приймаємо, що час безвідмовної роботи $T_0 = T_{dil} = 7778$ год.

Ймовірність безвідмовної роботи електровоза описується експоненціальним законом. В нашому випадку:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (2.19)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи.

$$P(t) = e^{-0,00013t}.$$

Слід мати на увазі, що при статистичному визначенні часу безвідмовної роботи ця величина являється випадковою і вимагає додаткових обчислень для визначення межів варіювання .

Розраховуємо ймовірність виконання ремонту електровоза в заданий час. При ремонті електрорухомого складу, ця залежність виражається експонентною:

$$V(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{T_e}} \quad (2.20)$$

де T_e – середній час відновлення, години.

$$V(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{100}} = 1 - e^{-0,01\tau}. \quad (2.21)$$

						Арк.
						31
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Ймовірність справного стану системи характеризує коефіцієнт готовності, які визначається за формулою:

$$K_2 = \frac{T_0}{T_0 + T_e}, \quad (2.22)$$

де T_0 —час безвідмовної роботи, години;

T_e —середній час відновлення, години.

$$K_2 = \frac{7778}{7778 + 100} = 0,9873.$$

Ймовірність несправного стану системи, на цей момент рівна:

$$Q_0 = 1 - P_0, \quad (2.23)$$

де P_0 —ймовірність справного стану системи.

$$Q_0 = 1 - 0,9873 = 0,0127.$$

Розраховуємо ймовірність нормального функціонування електровоза з врахуванням початкового стану і ймовірність відновлення несправностей за формулою:

$$P_{н.ф.}(t) = P_0 P(t) + (1 - P_0) V(\tau) P(t - \tau) \quad (2.24)$$

Час відновлення τ риймемо рівним середньому часу відновлення T_e . Необхідні величини $P(t)$ і $V(\tau)$ обчислюємо за допомогою вище вказаних формул.

						Арк.
						32
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Час виконання пробігу між ПРЗ при нормі $L_{ПРЗ}=350000$ км, $t=6482$ год.

Тоді:

$$P(t - \tau) = \frac{0,4306}{0,9873} = 0,436;$$

$$P_{н.ф.}(t) = 0,9873 \cdot 0,4306 + 0,0127 \cdot 0,436 \cdot 0,632 = 0,43.$$

Час виконання пробігу між ПРЗ при нормі $L_{ПРЗ}=350000$ км, $t=6482$ год. Тоді:

$$P(t - \tau) = \frac{0,96}{0,9873} = 0,98;$$

$$P_{н.ф.}(t) = 0,9873 \cdot 0,96 + 0,0127 \cdot 0,98 \cdot 0,632 = 0,96.$$

З отриманих даних видно, що без профілактичних заходів за час виконання встановлених норм пробігів ймовірність безвідмовної роботи електровоза виявляється недопустимо низькою. З цього випливає необхідність технічного обслуговування електрорухомого складу в період між наступним ремонтом. При технічних і профілактичних оглядах відбувається відновлення надійності. Однак по мірі зростання часу роботи зростає знос деталей і вузлів електрорухомого складу, який не може бути відновлений при технічному огляді і в цілому ймовірність безвідмовної роботи поступово знижується.

						Арк.
						33
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

3.1 Організація станції випробувань електричного обладнання

Випробування електричних машин і електричної апаратури здійснюється згідно правил ремонту, а також діючими інструкціям. У депо пропонується випробувальну станцію стендових і високовольтних випробувань обладнати на спільній території.

Станція призначена для проведення контрольних випробувань тягових електродвигунів і всіх допоміжних машин.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика системи

Параметр	Значення
Максимальна споживана потужність, кВт	2,5
Напруга живлення, В	380
Кількість акумуляторів, що встановлюються в контейнер	40
Кількість контейнерів, що одночасно завантажуються	1
Габарити, мм: стенда	1775x1260x1500
шафи з апаратами	450x350x600
Маса, кг: стенда	670
шафи з апаратами	50

Контрольні випробування проводяться для перевірки електричних машин в умовах, наближених до умов роботи машин в експлуатації. Тут же проводять перевірку електричної міцності ізоляції трансформатора, згладжуючого реактора, високовольтного вимикача, рукавів струмоприймачів, а також визначають параметри вілітових розрядників РВЕ-

25, РВМК-У, нелінійних резисторів ВНКС-25, стабілізаторів СН-104 і трансформаторів кіл управління.

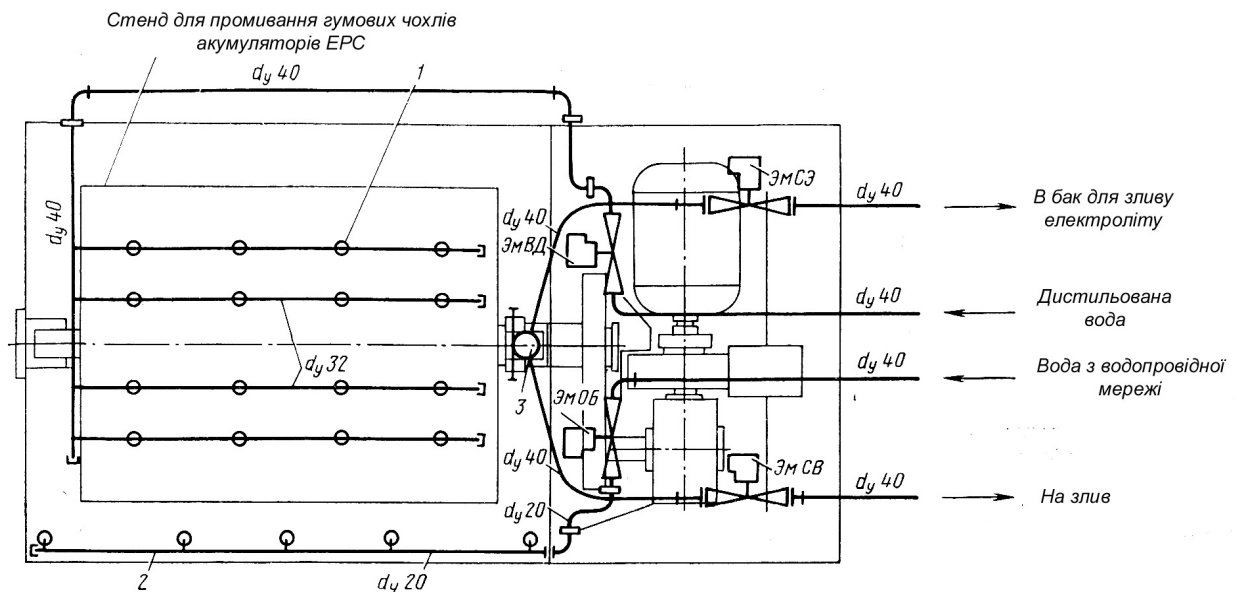


Рисунок 3.1 - Схема гідравлічна. Тип А832.01:

ЭМВД, ЭМОБ, ЭМСВ, ЭМСЭ - вентилі електромагнітні; *1* - колектор для наливання дистильованої води в банки; *2* - труба зовнішнього обмивання акумуляторних банок; *3* - трійник для зливу електроліту і води

Устаткування випробувальної станції розташоване в два яруси і дозволяє на одному випробувальному полі проводити по черзі або стендові, або високовольтні випробування. Розташування устаткування ярусу станції стендових і високовольтних випробувань електричних машин наведено на листі 6.

Для кріплення тягових двигунів при проведенні контрольних випробувань використані спеціальні малогабаритні опорні рами, які виготовлені з поперечних балок рами візка моторного вагону разом з упорами для клинів кріплення опорних кронштейнів двигуна. Після ремонту двигуни з насадженими на їх вали фланцями встановлюють на рами і сполучають між собою гумокордовою муфтою.

Особливістю схеми контрольних випробувань тягових двигунів за способом взаємного навантаження є використання як ВДМ статичного перетворювача. Статична вольтодобавочна машина складається з роздільного трансформатора ТР, випрямного моста ВМ і трифазного індукційного регулятора ІР, який використовується в схемі стенду для випробування трифазних допоміжних машин. Регулювання напруги ВДМ і, отже, пульсуючого струму випробовуваних двигунів здійснюється за допомогою індукційного регулятора.

При виборі параметрів статичної ВДМ слід виходити із значень навантаження і опорів обмоток випробовуваних двигунів і особливості схеми. У схемі випробувань за способом взаємного навантаження напругу ВДМ компенсує падіння напруги в обмотках двигуна і генератора, яке з урахуванням параметрів двигунів, не перевищує 110 В. Застосування статичної ВДМ дозволяє отримати необхідний для випробування пульсуючий струм, близький за формою до кривої струму, що отримується від випрямної установки електропоїзда чи електровоза в експлуатації. Контроль частоти обертання двигунів при проведенні випробувань здійснюють за допомогою цифрового тахометра типу ТЦ-5.

Частина устаткування випробувальної станції (індукційний регулятор з вентилятором, лінійний генератор з приводним двигуном, агрегат збуджувачів) винесена за її межі. Управління комутаційною апаратурою під час випробувань тягових двигунів і допоміжних машин здійснюється з пультів управління. Комутаційна і захисна апаратура, регулювальні резистори розташовані в розподільних щитах.

Випробування допоміжних електричних машин електропоїздів ЕР9П (розщиплювачі фаз, мотор-компресори, мотор-вентилятори, мотор-насоси) проводять способом їх безпосереднього навантаження. Навантаження на розщиплювач фаз створюється резистором навантаження або підключенням до нього мотор-вентилятора. Для випробування допоміжні машини встановлюють

						Арк.
						36
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

на універсальну підставку. До каркаса підставки кріпиться пристосування для гальмування ротора машини в режимі короткого замикання.

Розціплювачі фаз підключають до клемної колонки, а мотор-вентилятори - до колонки. Проведення режимів випробувань в повному об'ємі здійснюється з одного пульта від однієї колонки. Необхідні перемикання в схемі проводять пакетними перемикачами на пульті управління.

Для випробування електричної міцності ізоляції електричних машин і електроустаткування над станцією стендових випробувань на другому ярусі розташовано устаткування високовольтної випробувальної станції. Устаткування високовольтної станції містить три випробувальні кола:

змінного струму 0-12,5 кВ - для випробування електричної міцності ізоляції тягових двигунів і допоміжних машин, вторинної обмотки тягового трансформатора, згладжуючого реактора, а також захисних засобів техніки безпеки, що використовуються при обслуговуванні ЕРС;

змінного струму 0-100 кВ - для випробування первинної обмотки трансформатора, високовольтного вводу, високовольтного вимикача, рукавів струмоприймача, вілітових розрядників на пробій;

постійного струму 0-30 кВ - для перевірки струмів витoku нелінійних резисторів та вілітових розрядників.

Для підключення випробовуваного об'єкту до джерела високої напруги використаний наступний спосіб монтажу сполучних шин. Усередині високовольтного осередку розташовано два опорні ізолятори СТ-35, які встановлені один на одного. Від опорних ізоляторів сполучна шина проходить до підвісної гірлянди, складеної з ізоляторів ПФ6-А і розрахованої на напругу 100 кВ. Від гірлянди ізоляторів сполучна шина спускається вниз і закінчується затискачем, до якого підключають випробовувані апарати.

При проведенні випробувань електричної міцності ізоляції двері станції стендових випробувань, розташованої внизу, і двері високовольтної випробувальної станції, розташованої вгорі, закриті і заблоковані. Управління ними здійснюється з одного пульта. Для цієї мети використана пневматична

						Арк.
						37
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

система блокування дверей і приводу заземлювального роз'єднувача. Вона включає роз'єднувальний кран з рукояткою управління на пульті високовольтної випробувальної станції, три пневматичні блокування дверей і пневматичний привід заземлювального роз'єднувача.

Після увімкнення повітря з магістралі поступає до блокування перших дверей, і якщо вони закриті, шток її проходить в проріз дверей, відкриваючи доступ повітря до наступного блокування.

При закритому положенні всіх дверей повітря послідовно проходить через всі блокування і поступає в циліндр приводу ножа заземлювального роз'єднувача. Після проведення випробувань для розблокування дверей рукояткою управління роз'єднувальний кран сполучає повітряну магістраль з атмосферою.

Повітря з циліндрів приводу роз'єднувача і блокувань виходить в атмосферу. Під дією зусилля пружин ніж роз'єднувача заземляє високовольтні кола, а потім штоки блокувань звільняють двері. Окрім вказаної системи блокування, кожні двері мають електричне блокування. Система управління пневматичними приводами забезпечує надійне замикання всіх дверей випробувальної станції і управління роботою заземлювального роз'єднувача з одного пульта управління, виключає відкриття дверей при проведенні випробувань електричної міцності ізоляції.

Таким чином, використання суміщеної випробувальної станції дозволяє скоротити площу для розміщення устаткування і зменшити час на проведення випробувань.

3.2 Впровадження пристосування для випробування головних вимикачів

Демонтовані з електровоза головні вимикачі в депо пропонується випробувати з використанням спеціалізованого пристосування.

Пристосування типу ПР2112.00 призначене для визначення проміжків часу між комутаціями контактних груп головних повітряних вимикачів (ГВ).

						Арк.
						38
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Пристосування для перевірки часових характеристик ГВ являє собою переносний прилад, що складається з корпусу 1 з устаткуванням і кожуха 2, на якому кріпиться ручка 3 (лист 3).

На лицьову стінку корпусу пристосування винесені мікроамперметр, запобіжник *Пр*, змінні опори *R5* і *R7*, сигнальна лампа *ЛС*, пакетний *B2* і галетний *ГП* перемикачі. На лицьовій стінці пристосування ПР2112.01 розташовані міліамперметр, розетки *РД1* і *РД2* для підключення вимірювального приладу, змінні опори *R1* і *R2*, тумблери *B* і *П2*, пакетний перемикач *П1*, запобіжник *Пр*, сигнальна лампа *ЛС*.

На дні кожуха обох пристосувань кріпиться панель з апаратами 4, трансформатор *Тр*, конденсатор *С1*, резистор (*R2* - в пристосуванні ПР2112.00, *R3*- в пристосуванні ПР2112.01). Крім того, на дні кожуха пристосування ПР2112.01 встановлена панель з резисторами 5 (див. мал. 56).

На задній стінці корпусу встановлена штепсельна колодка *ШП*, до якої через сполучний шлейф підключається перехідна колодка. До затисків перехідної колодки під'єднуються випробовувані апарати. Перехідна колодка на кресленні загального вигляду не показана. Пристосування може працювати із стендом для випробування *ГВ* типу А229.04. В цьому випадку пристосування з'єднується із стендом через роз'єм *ШП* за допомогою сполучного шлейфу.

Пристосування дозволяє вимірювати проміжки часу при наступних комутаціях: час спрацьовування апарату з розмикаючими і замикаючими контактами; час відключення апарату з розмикаючими і замикаючими контактами; різницю в часі спрацьовування будь-якої пари контактів.

Електрична схема пристосування наведена на листі 1, Особливість схеми полягає в тому, що пристосування ПР2112.00 працює без підключення вольтметра, внутрішній опір якого більше 10 МОм, або мікроамперметра з додатковим опором *R9* - *R16*. Вимірювання і контроль в пристосуванні ПР2112.00 здійснюється мікроамперметром *И*. Вимірювальне коло пристосування ПР2112.00 включає мікроамперметр *И* і складений емітерний

						Арк.
						39
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

повторювач з великим вхідним опором (порядку 20- 40 МОм). Емітерний повторювач зібраний на транзисторах Т4 - Т6.

Для лінеаризації характеристики емітерного повторювача в коло заряду конденсатора $C1$ включено постійний зсув, що створюється дільником $R7, R9$ і діодом $Д6$.

Пристосування функціонально можна розбити на наступні вузли:

джерело ізольованої від мережі нестабілізованої постійної напруги, що включається вимикачем $B1$ і захищений запобіжником $Пр$ на 0,25 А. У якості випрямляча використані діоди $Д1 - Д4$. Пульсації вихідної напруги випрямляча згладжуються фільтром-конденсатором $C2$. Сигналізація про включення пристосування в мережу здійснюється неоновною лампою $ЛС$, струм якої обмежений опором $R1$;

джерело стабілізованої постійної напруги, виконане на стабілітронах $КС1, КС2$ з обмежуючим опором $R2 - 2,2$ кОм;

транзисторний стабілізатор напруги, що складається з регулюючого елемента, зібраного на двох транзисторах $T1$ і $T2$, підсилювача постійного струму на транзисторі $T3$ і параметричного опорного стабілізатора напруги $КС1$,

опір $R4$, який виконує функції струмовідводу. Опір $R3$ задає струм опорного стабілітрона $КС1$, Змінним опором $R5$ і постійним опором $R6$ задається струм на виході стабілізатора напруги;

основний зарядний конденсатор $C1$ на 200 В, послідовно якому включений діод $Д5$ із зворотним струмом не більше 0,1 мкА для відсічення конденсатора від комутуючих кіл;

пристрій комутації пристосування, що складається з пакетного перемикача $B2$ (III) і галетного перемикача $ГП$.

Робота схеми пристосування заснована на тому, що в проміжках визначуваного часу комутації випробовуваного апарату конденсатор $C1$ заряджає стабілізованим і наперед відкаліброваним по мікроамперметру I струмом. Напруга на конденсаторі $C1$ при цьому є пропорційною часу заряду.

						Арк.
						40
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Після закінчення комутації випробовуваного апарату заряд конденсатора припиняється шляхом обриву його кола або шунтування джерела зарядного струму. Після цього знімаються покази мікроамперметра I , які є пропорційними проміжку часу комутації, що визначається. Для відновлення готовності пристосування до подальшої роботи конденсатор $C1$ розряджають до нуля на опір $R8$ переводом галетного перемикача в положення «Контроль».

Технічна характеристика приладу для перевірки часових характеристик ГВ наведена у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика приладу для перевірки часових характеристик ГВ

Параметр	Значення
Межі вимірювання проміжків часу, мс	10...100
Напруга живлення, В	220±15%
Споживана потужність, не більше, Вт	20
Зменшення показів за час 10 с, %	1,0
Найбільший комутований змінний струм при напрузі: 220 В, А 380 В, А	10 6
Похибка, що викликана неодноразовістю спрацьовування контактів пускового пакетного перемикача $B2$ або $П1$, не більше, мс	2
Опір витоку контактів випробовуваного апарату, не менше, МОм	2
Габарити, мм	290X235x320
Маса з перехідною колодкою, кг	10

3.3 Впровадження стенда для випробування сельсинів

Електрообладнання електровозів працює в умовах тряски і ударів, які виникають при русі електровоза, в умовах високих напруг і струмів. Тому, електричне обладнання характеризується низькою надійністю, їх відмови складають 50 % загальних відмов електровозів.

На даний час перевірка параметрів сельсинів здійснюється ненадійним методом, крім того на необладнаному для цього місці. Таке випробування є незручним і небезпечним для людини, що проводить випробування, так як, випробування проводяться із застосуванням напруг і струмів небезпечних для життя людини. Крім цього таке випробування сельсинів не дає належної точності при випробуванні.

Як відомо сельсин приймач встановлений у якості покажчика позицій у кабіні машиніста електровоза. Тому, неякісне випробування і регулювання сельсинів може привести до неточних показів покажчика позицій, що в свою чергу, може ввести в оману машиніста електровоза.

А як відомо, при будь-яких неточних показах приладів машиніст може вибрати невірний режим ведення поїзда, як наслідок, це може привести до порушення безпеки руху, що є неприпустимим на залізничному транспорті.

Тому, аналізуючи вище сказане виникає необхідність для створення стенду (лист 3), на якому буде здійснюватись перевірка параметрів сельсинів і їх регулювання.

Розробка електричної схеми випробувального стенда. При розробці електричних схем закладається основа надійної роботи апаратури. Різні складні схеми, в яких недостатньо враховані особливості застосування елементів і приладів, неправильно вибрані їх режими роботи, а також, схеми які володіють нестабільною роботою і не мають захисту від аварійних режимів можуть привести до неправильної експлуатації, в подальшому, апаратури.

Силове коло схеми, що проектується буде живитися від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

						Арк.
						42
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Підключення стенду до мережі здійснюється через автоматичний вимикач *QF1*, який буде відключати напругу живлення стенду, при виникненні аварійних режимів, у силовому колі стенду.

Безпосередньо напруга в схему стенду подається перемикачем *S1*, який встановлений на панелі управління стендом.

Для візуальної сигналізації про подачу живлення в схему стенду встановлена сигнальна лампа *HL1*, з напругою живлення 24В і додатковим опором R_0 .

При розробці силового кола, для здійснення плавного регулювання напруги живлення сельсинів, вибираємо регулювання по низькій стороні випробувального кола за допомогою автотрансформатора *T1* типу ЛАТР-2М.

Для гальванічної розв'язки кола живлення сельсинів від мережі змінного струму 220В в схемі після автотрансформатора встановлюємо роздільний трансформатор *T2*. Встановлюючи роздільний трансформатор ми забезпечуємо, згідно техніки безпеки, безпечну роботу обслуговуючого персоналу.

Для контролю величини напруги, що подається на сельсини, які перевіряються, після трансформатора *T2* встановлено вольтметр *PV1*.

Безпосередньо, подача живлення на сельсини здійснюється при вмиканні перемикача *S2*, який встановлений в схему за трансформатором *T2*.

Для вимірювання струму живлення сельсинів в схемі встановлено амперметри *PA1* і *PA2*.

Напруга синхронізації вимірюється мілівольтметром *PV2*, який під'єднується до клем $\Phi1$, $\Phi2$, $\Phi1$,

Для захисту обмоток сельсинів, які перевіряються, у вторинне коло встановлено запобіжник *FU1*.

Електрична схема стенду приведена на листі 3.

Опис роботи електричної схеми. Для роботи стенда необхідно подати живлення від розподільчого щита, для цього необхідно включити автоматичний вимикач *QF1*.

Безпосередньо подача живлення від мережі 220В, 50Гц подається в схему

						Арк.
						43
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

стенду при включенні перемикача *S1*. При цьому на пульті управління загорається сигнальна лампа *HLL*, яка засвідчує про подачу живлення в схему стенду.

Після подачі живлення в схему стенду за допомогою автотрансформатора *T1* виставляємо напругу живлення сельсинів 110В по вольтметру *PV1*.

При встановленні необхідної напруги живлення сельсинів, вмикаємо перемикач і подаємо цю напругу живлення безпосередньо на сельсини, що перевіряються (клеми *B1* і *B2*).

Напругу синхронізації вимірюємо мілівольтметром *PV2*, безпосередньо від'єднавши його на клеми $\Phi1$, $\Phi2$, $\Phi1$,

Струм живлення сельсинів вимірюється за допомогою амперметрів *PA1* і *PA2*.

Після завершення випробувань необхідно вимкнути перемикач *S2*. Напругу живлення сельсинів за допомогою автотрансформатора *T1* зменшити до нуля. Після чого вимкнути перемикач *S1*. Вийняти вилку кабелю живлення мілівольтметра *PV2* з розетки.

Розробка пульта управління. Пульт управління стендом повинен бути розташований так, щоб було зручно здійснювати управління процесом випробування сельсинів. Випробувальне поле повинно знаходитись у полі видимості особи, що проводить випробування.

Пульт управління стендом складається з панелі управління, внизу якої знаходиться автотрансформатор. З лицьової сторони стенду є отвір, через який виведено ручку автотрансформатора, для регулювання напруги, з надписом “Напруга”.

З правої сторони від панелі управління розташовані вимірювальні прилади, які поміщені у каркасі стенду звареного із кутників. Для спостереження за показами приладів передбачено прозоре вікно. Матеріал для вікна, є оргскло, воно має хороші діелектричні властивості і механічну міцність.

На панелі управління розташовані перемикачі для подачі живлення на стенд *S1*, і має надпис “Мережа”, а також, перемикач для подачі живлення на

						Арк.
						44
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

сельсини S2, з надписом “Живлення сельсинів”.

Зверху над перемикачем розташована сигнальна лампа, яка сигналізує про подачу живлення на стенд.

Крім цього, на передній панелі знаходиться вмонтований запобіжник. В самій верхній стороні панелі розташовані клеми до яких за допомогою провідників підключаються сельсини, що перевіряються.

Отже, таке розташування обладнання на панелі управління і на стенді в цілому є компактним, практичним і простим у користуванні.

По обох боках стенду є спеціальні кронштейни для закріплення сельсинів, які проходять випробування.

Стенд встановлений на столі, який являє собою зварну конструкцію з кутника. З правого боку якого знаходиться шафа для приладів. Стіл зашитий листовою сталлю, а верхня частина виготовлена із текстоліту. Зліва від стенду на столі розташований мілівольтметр, який живиться через розетку.

Крім цього, на столі передбачено місце для здійснення необхідних записів, при проведенні випробувань.

Стенд необхідно розмістити так, щоб був забезпечений вільний доступ до нього. Відстань від стіни приміщення до задньої і бокової стінок стенда повинна бути не менше 800 мм, а до лицьової стінки стола не менше 1000 мм.

						Арк.
						45
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Електровози у теперішній час є основним видом ТРС, який забезпечує вантажні перевезення і будуть залишатися такими протягом наступних років. Однак електровозний парк України характеризується значним ступенем зношення і, відповідно, низьким рівнем надійності. Особливо це стосується електричних апаратів електровозів, які піддаються дії багатьох зовнішніх факторів, що знижують їх надійність: вібрації, дії електроструму, механічному зношуванню і т.п.

Проведений у роботі розрахунок основних показників надійності показав, що без профілактичних заходів за час виконання встановлених норм пробігів ймовірність безвідмовної роботи електровоза виявляється недопустимо низькою. З цього випливає необхідність технічного обслуговування електрорухомого складу в період між наступним ремонтом. При технічних і профілактичних оглядах відбувається відновлення надійності. Однак по мірі зростання часу роботи зростає знос деталей і вузлів електрорухомого складу, який не може бути відновлений при технічному огляді і в цілому ймовірність безвідмовної роботи поступово знижується.

З метою підвищення рівня надійності електричного обладнання електровозів запропоновано:

- організувати у депо станцію високовольтних випробувань електричного обладнання;
- впровадити пристосування для випробування головних вимикачів;
- впровадити стенд для випробувань сельсинів.

Реалізація вказаних заходів підвищить надійність електричного обладнання електровозів, що у свою чергу призведе до покращення ефективності експлуатації електровозів. Іншими словами, поставлена мета кваліфікаційної роботи виконана.

						Арк.
						46
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інтегрований звіт АТ «Укрзалізниця» за 2020 рік. (Звіт про управління). [Електронний документ]. Режим доступу: <https://www.uz.gov.ua/files/file/about/investors/UZ%20Integrated%20Report%202020%20Ukr.pdf>
2. Беляев, Ю.К. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. // М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Пронников, А.С. Надежность машин / А.С. Пронников // М.: Машиностроение, 1978. -592 с.
4. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава. Учеб. Пособие для вузов ж.д. трансп. / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов // М.: Транспорт, 1981, 184 с.
5. Grant Ireson, W. Reliability. Handbook / W. Grant Ireson // Department of industrial engineering. Stanford university. 1966. 338 p.
6. Тетерко, О. А. Підвищення надійності електроконтактних з'єднань силових контакторів електровозів змінного струму : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 / О. А. Тетерко ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — Дніпропетровськ, 2008. — 22 с.
7. Боднар, Є. Б. Підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Є. Б. Боднар ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2004. – 19 с. Захист – 15 квітня 2004 р.
8. Муха, А. М. Структурна надійність тягового перетворювача для багатосистемного електровоза з асинхронними тяговими двигунами / А. М. Муха // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С. 45–52. – DOI: 10.15802/stp2009/13553.
9. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму / Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко, Є. О. Жернаков, Р. В.

						Арк.
						47
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Краснов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.
– Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 29–31. – DOI:
10.15802/stp2007/17434.

10. Белухин, Д. С. Повышение надежности систем автоматического регулирования напряжения электроподвижного состава / Д. С. Белухин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 75–80. – DOI: 10.15802/stp2012/7673.

						Арк.
						48
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		