

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський національний університет
імені В.І. Вернадського
Навчально-науковий інститут муніципального управління
та міського господарства
Кафедра Інженерних систем та технологій

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТРОЛЕЙБУСА

Здобувача вищої освіти
Ващенко Максима Вікторовича
Освітня програма
«Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
(Спеціальність
174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та
робототехніка»)

(підпис)

Науковий керівник:
д.т.н., професор Медведєв М.Г.

(підпис)

Національна шкала _____
Кількість балів _____
Оцінка: ECTS

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського
 Навчально-науковий інститут муніципального управління
 та міського господарства
 Кафедра Інженерних систем та технологій
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
 Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Завідувач кафедри
 _____ Наталія ОМЕЦІНСЬКА
 « ____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Ващенко Максима Вікторовича

1. Тема роботи: Розроблення автоматизованої системи моніторингу технічного стану тягового обладнання тролейбуса
 керівник роботи: д.т.н., професор Медведєв М.Г.
 затверджені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:
 від « ____ » _____ 2025 р. № ____
2. Строк подання студентом роботи: 25.05.2026
3. Вихідні дані до роботи: Дані щодо експлуатації тягових електродвигунів (ТЕД), тиристорно-імпульсних систем управління (ТІСУ) та струмоприймачів тролейбусів марок Тр-14, ЗіУ-9, К12.03 тощо.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Проаналізувати існуючі методи діагностування тягового електрообладнання та причини відмов струмоприймачів тролейбуса; Обґрунтувати доцільність переходу до системи технічного обслуговування за фактичним станом та використання композиційних матеріалів для контактних вставок; Розробити комплекс уніфікованих технічних засобів (мобільних, бортових, стаціонарних) та організаційні заходи для автоматизованого моніторингу електробезпеки; Пропрацювати охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях.
5. Перелік графічного матеріалу: графічна робота виконана у вигляді мультимедійної презентації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	професор Микола МЕДВЕДЄВ		
Розділ 2	професор Микола МЕДВЕДЄВ		
Розділ 3	професор Микола МЕДВЕДЄВ		
Розділ 4	професор Микола МЕДВЕДЄВ		

7. Дата видачі завдання _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Заключний документ етапу
1	Вибір теми магістерської роботи, призначення керівника	до 12.09.2024	Затвердження переліку тем магістерських робіт
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану магістерської роботи	до 21.10.2024	Список літературних джерел, план роботи
3	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми магістерського дослідження	до 21.10.2024	Текст вступу
4	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:	21.10.2024– 02.12.2024	Текст розділів
4.1	I розділ	21.10.2024– 28.10.2024	Текст розділу
4.2	II розділ	28.10.2024– 4.11.2024	Текст розділу
4.3	III розділ	4.11.2024– 11.11.2024	Текст розділу
4.4	IV розділ	11.11.2024– 18.11.2024	
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення	18.11.2024– 21.11.2024	Роздатковий матеріал, презентація
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків	21.11.2024– 25.11.2024	Список літературних джерел
7	Оформлення та попередній захист магістерської роботи	25.11.2024 – 09.12.2024	Магістерська робота, рішення кафедри про допуск до захисту
8	Внесення коректив та кінцеве редагування магістерської роботи	09.12.2024 – 15.12.2024	Магістерська робота
9	Реєстрація магістерських робіт на кафедрі	до 15.12.2024	Магістерська робота внесена до журналу реєстрації випускних робіт
10	Захист магістерської роботи	11.12.2024 – 16.12.2024	Рішення Екзаменаційної комісії про захист

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Діагностування тягових електродвигунів.....	10
1.2 Діагностування тиристорно-імпульсних систем управління.....	22
1.3 Ізоляція високовольтних ланцюгів.....	33
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	51
2.1 Аналіз відмов струмоприймачів тролейбусів.....	51
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	84
3.1 Розробка тролейбуса.....	84
3.2 Експлуатація тролейбуса.....	86
3.3 Система технічного обслуговування і ремонту тролейбусів з використанням діагностичної інформації.....	88
3.4 Технічні пропозиції по конструкції уніфікованих засобів контролю.....	90
3.5 Організацій і технічні заходи діагностики тролейбусів.....	96
3.6 Зниження технічного стану тролейбусів в процесі експлуатації.....	103
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	75
4.1 Опис робочого місця програміста.....	75
4.2 Освітленість робочого столу.....	78
4.3 Висновки до розділу.....	79
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

АНОТАЦІЯ

Ващенко М. В. Розроблення автоматизованої системи моніторингу технічного стану тягового обладнання тролейбуса. – Рукопис.

Кваліфікаційна бакалаврська робота за спеціальністю 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка". – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2026 рік.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено методи та засоби діагностування основних вузлів електричного обладнання тролейбусів, зокрема тягових електродвигунів, тиристорно-імпульсних систем управління та ізоляції високовольтних ланцюгів. Розроблено комплекс уніфікованих технічних засобів контролю (бортових, мобільних та стаціонарних пристроїв) для безперервного автоматизованого моніторингу електробезпеки та струмів витоку. Запропоновано використання інноваційних контактних вставок із композиційного матеріалу на основі алюмінієвих сплавів із додаванням графіту для підвищення надійності вузла струмознімання. Обґрунтовано доцільність переходу від системи ремонтів із жорстко регламентованими пробігами до системи технічного обслуговування за фактичним станом об'єкта. Практичне значення полягає у можливості впровадження розробленої системи для мінімізації простоїв, подовження ресурсу експлуатації рухомого складу та підвищення загальної електробезпеки міського транспорту.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення надійності та контролю технічного стану електричного обладнання тролейбуса під час експлуатації.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та апаратні засоби автоматизованої системи моніторингу технічного стану тягового обладнання та електробезпеки тролейбуса.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування та розробка автоматизованої системи моніторингу технічного стану тягового обладнання для підвищення експлуатаційної надійності, ефективності та безпеки тролейбусів.

Методи дослідження – системний аналіз, теорія надійності, методи технічної діагностики, математичне та статистичне моделювання.

Ключові слова: тролейбус, автоматизована система моніторингу, технічний стан, тягове електрообладнання, діагностування, електробезпека, струм витоку, технічне обслуговування.

ABSTRACT

Vashchenko M. V. Development of an automated system for monitoring the technical condition of trolleybus traction equipment. – Manuscript.

Qualification bachelor's thesis in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". – V.I. Vernadsky Tavrichesky National University, Kyiv, 2026.

The bachelor's qualification work investigated methods and means of diagnosing the main components of the electrical equipment of trolleybuses, in particular traction electric motors, thyristor-pulse control systems and insulation of high-voltage circuits. A complex of unified technical control tools (on-board, mobile and stationary devices) for continuous automated monitoring of electrical safety and leakage currents was developed.

The use of innovative contact inserts made of composite material based on aluminum alloys with the addition of graphite is proposed to increase the reliability of the current collection unit. The feasibility of transitioning from a system of repairs with strictly regulated runs to a system of maintenance based on the actual condition of the object is substantiated. The practical significance lies in the possibility of implementing the developed system to minimize downtime, extend the service life of rolling stock and improve the overall electrical safety of urban transport.

The object of the study is the process of ensuring the reliability and control of the technical condition of the trolleybus electrical equipment during operation.

The subject of the study is methods, algorithms and hardware of an automated system for monitoring the technical condition of the traction equipment and electrical safety of the trolleybus.

The purpose of the work is the theoretical justification and development of an automated system for monitoring the technical condition of traction equipment to increase the operational reliability, efficiency and safety of trolleybuses.

Research methods are system analysis, reliability theory, technical diagnostics methods, mathematical and statistical modeling.

Keywords: trolleybus, automated monitoring system, technical condition, traction electrical equipment, diagnostics, electrical safety, leakage current, maintenance.

ВСТУП

Постійно зростаюча конкуренція на ринку пасажироперевозок змушує підприємства міського електричного транспорту вдосконалювати свою роботу, використовуючи сучасні методи й засоби керування організацією руху на маршрутах міста, щоб зберегти свій контингент пасажирів і залучити нових потенційних користувачів нашим видом транспорту.

Регулярна, безпечна, з високою культурою обслуговування доставка пасажирів створить нам авторитет надійного перевізника й допоможе в конкурентній боротьбі з іншими видами транспорту.

У кваліфікаційній роботі розглянуті шляхи подальшого підвищення ефективності експлуатації рухомого складу міського електротранспорту в м. Києву, які містять у собі наступні напрямки:

- організаційні (обстеження пасажиропотоку, оптимізація розкладу руху, структурна реорганізація підприємства);
- технологічні (організація виконання й неухильне дотримання графіків і обсягів робіт на рухливому складі, передбачених нормативними документами);
- технічні (впровадження засобів об'єктивного контролю на основі використання персональних комп'ютерів, об'єднаних у корпоративну мережу).

Основна задача, яка ставиться перед виробником рухомого складу і виконавцями ремонтів є збільшення надійності рухомого складу.

Розроблені в кваліфікаційній роботі організаційні й технічні заходи дозволяють створити безпечні й здоровіші умови праці на ділянці з ремонту електронних блоків і плат у депо.

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЯК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦІЇ МОНІТОРИНГУ ВУЗЛІВ ТРОЛЕЙБУСА

До основних вузлів електричного обладнання тролейбусів входить:

- 1 Тягові електродвигуни
- 2 Тиристорно-імпульсні системи управління
- 3 Контактторно-реостатні системи управління
- 4 Струмоприймачі
- 5 Ізоляція високовольтних ланцюгів
- 6 Система низьковольтного електропостачання

1.1 Діагностування тягових електродвигунів

На тролейбусах, що експлуатуються в Україні, застосовують тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму з послідовним (Тр-9, Тр-14, Тр-15, ДАК-317, ДАК-217, К 12.03, К12.04) і змішаним збудженням (Зіу-9, Зіу-10, ПМЗ Т1, ПМЗ Т2, ЛАЗ 52522).

У процесі роботи ТЕД відбувається деградація параметрів ряду його елементів, що в остаточному підсумку призводить до наступних найбільш значущих негативних наслідків:

- втрати працездатності ТЕД;
- наявності на корпусу двигуна небезпечного для пасажирів і персоналу напруги;
- збільшеному проти природного темпу зношування окремих елементів ТЕД;
- підвищеними вібраціям з негативним впливом на комфортабельність поїздки і безвідмовність роботи інших елементів тролейбуса, що ушкоджуються вібрацією двигуна.

У тролейбусах, де застосовані ТЕД зі змішаним збудженням, внаслідок часткового міжвиткового замикання паралельних обмоток, знижується ефективність електродинамічного гальма. Це змушує водія застосовувати механічне гальмо при догальмовуванні з більш високих швидкостей, інтенсифікуючи тим самим зношення деталей гальмівних механізмів. Таким чином, технічний стан ТЕД впливає на рівень обслуговування пасажирів, а саме

на безвідмовність машин, комфортабельність, електробезпечність, економічні показники.

Основна частина відмов і попереджувальних ремонтно-оновлюючих впливів припадає на колекторно-щітковий вузол, ізоляцію обмоток якоря і полюсів, підшипники. Крім того, частину ТЕД, демонтують з машини через підвищену вібрацію.

У колекторно-щітковому вузлі найбільше інтенсивно відбувається знос пари тертя — електрощіток і пластин колектора.

Математичне чекання і середнє квадратичне відхилення зносу пластин колектора і електрощіток у функції пробігу змінюються практично лінійно. Знос колекторних пластин приводить до того, що електрощітки, які переміщаються в подовжньому напрямку по осі якоря в рамках зазорів у щіткотримачах, своїми краями періодично попадають на незношену ділянку колектора. У результаті цього різко зменшується площа прилягання електрощітки до колектора, зростає щільність струму, температура нагрівання, погіршується комутація.

Крім того, збільшений знос колекторних пластин може привести (при осьовому переміщенні якоря, що перевищує зазор між електрощіткою і щіткотримачем по ширині електрощітки) до відколів по краях щітки або заклинюванню її, що також збільшить іскріння під щітками і погіршить температурний режим колектора. З цієї причини відбуваються і механічні ушкодження щіткового вузла з відмовою ТЕД.

Експериментальними дослідженнями партій ТЕД тролейбусів різних типів встановлено, що знос колекторних пластин, що допускається, по глибині не повинний перевищувати 0,3 мм. У протилежному випадку ТЕД підлягає демонтажу, а колектор — проточці і при необхідності продорожці. Зміна стану колектора в процесі роботи ТЕД характеризується не тільки зносом пластин по глибині в місцях контакту з щітками. Спостерігається також зростаюче відхилення окружності колектора від правильної форми — поява еліпсності, хвилястості. Такі зміни викликаються деформацією окремих пластин через теплові і механічні впливи, вібрацію вала якоря, коливальних явищ у магнітній системі при збільшенні зазорів у підшипниках і т.п.

Усе це призводить до погіршення комутації, якість якої тісно зв'язане з рівнем іскріння і виділенням тепла в зоні струмоз'єму. Від цих показників залежить знос деталей, що беруть участь у передачі струму, а їхній стан у свою чергу безпосередньо впливає на якість комутації.

Однієї з причин погіршення комутації ТЕД і підвищеного темпу зношення струмоз'ємних елементів є відхилення натискання електрощітки від оптимального значення. Як встановлено в процесі підконтрольної експлуатації, натискання пружин електрощіток ТЕД зменшується з пробігом практично лінійно.

При зниженому натисканні електрощіток збільшується їх нагрівання, а також нагрівання пластин колектора в зв'язку із зростаючим іскрінням при підскакуванні електрощітки, а при підвищеному натисканні (установці пружин із завищеною твердістю) до нагрівання цих же елементів що зростає через підвищене механічне тертя.

У процесі роботи ТЕД відбувається також знос підшипників вала якоря. Проникнення в підшипники пилу, дрібних твердих часток, виділення продуктів зносу приводять до поступового стирання робочих поверхонь внутрішнього і зовнішнього кілець підшипників, об'ємному зносу роликів і кульок, а також сепараторів. У результаті збільшується радіальний зазор у підшипниках і змінюється положення якоря відносно полюсів, а саме, повітряний зазор збільшується між якорем і верхніми полюсами і, відповідно, зменшується між якорем і нижніми полюсами. Ексцентричне положення якоря приводить до двох негативних наслідків — зміні магнітної індукції під полюсами і виникненню сил однобічного магнітного притягання.

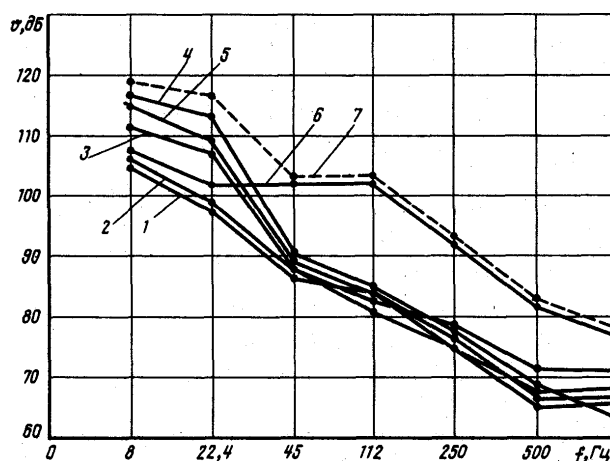
Виконані дослідження [Велич] свідчать, що збільшення радіального зазору в підшипниках до 0,5 мм приводить до виникнення сили однобічного магнітного притягання в ТЕД тролейбусів сімейства “Шкода” у 4900—5200 Н, а в ТЕД тролейбусів ЗіУ-682 — 5300—5550 В чи до збільшення сили приблизно на 1000 В на кожні 0,1 мм ексцентриситету якоря.

Значні динамічні зусилля виникають також через невірноваженість (дисбалансу) якоря. Як правило, причинами дисбалансу є неякісне балансування якоря і зборка ТЕД. Дисбаланс зростає внаслідок засмічення вентиляційних

каналів пилом і продуктами зносу елементів колектора. Викликані дисбалансом якоря коливання ТЕД характеризуються низькими частотами, порівняно великими амплітудами переміщень і малими прискореннями. Амплітуда вібрації в цьому випадку залежить від неврівноваженої маси, кутової швидкості обертання вала і твердості кріплення ТЕД. Природно, вплив цих факторів на вібрацію тим вище, чим вище радіальний зазор у підшипниках. Вплив радіального зазору і дисбалансу якоря на рівень вібрацій ТЕД показаний на рисунку 1.1, на кому приведена спектрограма віброшвидкостей тягового електродвигуна ДК-210.

Вібрація ТЕД яка виникає внаслідок зносу підшипників і дисбалансу якоря підсилюється в міру появи люфтів і дисбалансу карданного вала, що призводять, з одного боку, до зниження надійності самого ТЕД (особливо колекторно-щіткового вузла і підшипників), з іншого боку - впливає на кузов машини, електричні апарати, з'єднання проводів, плати ТІСУ й інші вузли тролейбуса.

У процесі роботи ТЕД відбувається також погіршення властивостей ізоляції обмоток якоря і полюсів, що є складним багатофакторним процесом. Зміна властивостей ізоляції в часі ("старіння") виявляється в зміні структури, окислюванні і зникненні компонентів компаундних заповнювачів, а також у втраті механічної міцності з утворенням тріщин.



1-еталонна; 2—при зазорі в підшипниках 0,1 мм; 3, 4, 5—при вантажі небалансу якоря відповідно 0,08; 0,10 і 0,13 кг; 6—при граничному зазорі в підшипниках, 7—при вантажі небалансу якоря 0,13 кг і граничному зазорі в підшипниках

Рис. 1.1 Спектрограми віброшвидкостей корпусу тягового електродвигуна

Ізоляція ТЕД тролейбусів працює в надзвичайно тяжких умовах. Двигуни розташовані під підлогою тролейбуса на відстані близько 200 мм від проїзної

частини. Забруднення, вода з хімічно активними речовинами, сіль, пісок в осінньо – зимову і пил у літню пору захоплюються вентиляторами двигуна й осідають разом із продуктами зносу колекторно-щіткового вузла на обмотках, ізоляторах, проводах. Інтенсивне внутрішнє зволоження ізоляції продовжується і у непрацюючих ТЕД. У період охолодження двигуна тиск у порах і капілярах ізоляції декілька нижче атмосферного, тому волога проникає в найменші пори і капіляри, що активізує і прискорює процеси старіння і руйнування ізоляції електродвигуна а також забруднюються вентиляційні канали, унаслідок чого порушується тепловий режим обмоток. Зазначені негативні моменти діють разом з безупинними коливаннями струмів і напруг, у тому числі атмосферних перенапруг і в процесі електродинамічного гальмування при несправностях у ланцюгах управління. Найбільш важкі наслідки викликаються пробоем ізоляції між двома секціями якоря, що лежать в одному пазу в двох різних шарах. У цьому випадку замкнутою накоротко є половина всієї обмотки якоря, у зв'язку з чим у всіх секціях короткозамкнутої обмотки створюється значний струм. В результаті виникає коловий вогонь на колекторі що швидко виводить ТЕД з ладу.

Деякі інші наслідки виникають при пробіі ізоляції рядом розташованих витків обмоток збудження. Так, у електродвигунах змішаного порушення, застосовуваних на тролейбусах типу ЗІУ міжвиткове замикання паралельних обмоток призводить до зменшення магнітного потоку і, як наслідок, до зниження обертового моменту ТЕД при одному і тому же струмі якоря. Найбільш негативні наслідки міжвиткового замикання обмоток збудження виявляються при електродинамічному гальмуванні внаслідок зниження гальмівного моменту.

Як показують результати підконтрольної експлуатації тролейбусів, зміна параметрів технічного стану ТЕД носить монотонний характер, і залишковий ресурс елементів ТЕД може прогнозуватися за результатами контролю параметрів. Виняток складає ізоляція обмоток ТЕД, для прогнозування залишкового ресурсу якої не вдається створити досить ефективних методів і засобів.

До числа параметрів, що характеризують технічний стан ізоляції, відносять: опір ізоляції, зволоженість, електричну міцність, діелектричну проникність,

тангенс кута діелектричних втрат, частоту внутрішніх розрядів, коефіцієнт теплопровідності.

У тролейбусних депо систематично вимірюють і реєструють один параметр опір ізоляції. Обробка даних про опір ізоляції ТЕД з різним наробітком показує, що опір (як математичне чекання, так і середнє квадратичне відхилення) не має функціонального зв'язку з наробітком. З цієї причини параметр може характеризувати лише поточний стан ізоляції, і використовувати його в якості прогнозуючого неправомірно.

Зволоженість ізоляції також є параметром її поточного стану. Більш об'єктивний стан ізоляції, у тому числі її ресурс, характеризує електрична міцність ізоляції, яка визначається за пробивною напругою але цей метод контролю не застосовується до ТЕД. На залізничному транспорті досліджені методи і засоби контролю, які не руйнують ізоляцію та дозволяють прогнозувати технічний стану ізоляції ТЕД постійного струму, конструктивне виконання якого близько ТЕД тролейбусів. Запропонований на залізничному транспорті метод, заснований на аналізі кривої струму, що протікає крізь багат шарову ізоляцію при прикладенні до неї випробувальної напруги пульсуючого постійного струму. При впливі на ізоляцію кожної хвилі випрямленої, однополуперіодної напруги струм, що протікає в ній, має дві складові, одна з яких представляє струм електричного зміщення (ємнісний), обумовлений ємністю ізоляції, а друг-струм провідності (витоку), При невисоких напругах через ізоляцію протікає, в основному, ємнісний струм, а з підвищенням напруги починає переважати струм провідності. Відношення струму зміщення до струму провідності при заданій напрузі може бути використано як параметр технічного стану ізоляції.

Експериментальними дослідженнями в НІКТІ МГ встановлено, що для реалізації цього методу необхідно прикладати до обмоток ТЕД напругу до 3 кв. Робити це безпосередньо на тролейбусі неприпустимо за умовами техніки безпеки. Такий контроль можна практикувати тільки на випробувальних ділянках в ремонтних відділеннях депо. З урахуванням приведеної ситуації варто визнати доцільним застосувати змішану стратегію управління технічним станом ТЕД—за результатами контролю параметрів і наробітку.

За наробітком ТЕД його варто демонтувати для очищення, профілактичного просочення ізоляції з наступним покриттям водостійкими емалями. У проміжках між запобіжними впливами ТЕД може бути демонтований тільки у випадку, коли хоча б один з параметрів технічного стану досяг граничного значення, тому що ресурс роботи ізоляції до її ремонту значно вище ресурсу працездатності колекторно-щіткового вузла. Демонтаж ТЕД практично у всіх випадках доцільно здійснювати за результатами контролю параметрів і прогнозування ресурсу колекторно-щіткового вузла, підшипників або рівня вібрації.

Просочення ізоляції варто робити на одному з ремонтів ТЕД з відновлення контрольованих параметрів.

Коротко вкажемо на методи і засоби контролю деяких параметрів ТЕД, розроблені в НДКТІ МГ. Параметри, що характеризують знос колектора (вироблення, биття), вимірюють, застосовуючи пристрій типу УКІД-М (рис. 10.3). Пристрій кріплять до кістяка електродвигуна в крайки колекторного люка, а штангу індикатора годинного типу встановлюють на робочу поверхню колектора. Вимір биття колектора роблять на роликову стенді а допомогою якого якір ТЕД повертається в процесі виміру. Биття колектора обчислюють як різниця найбільшого і найменшого відхилення стрілки індикатора при обертанні якоря. Допустиме значення биття ТЕД тролейбусів усіх типів не більше 0,1 мм.

Вироблення колектора визначають при переміщенні штанги індикатора від одного кінця колектора до іншого уздовж поверхні колекторної пластини. Базовим рівнем для відліку вироблення є крайні ділянки колектора, які не перекриваються електрощітками. Вироблення колектору визначають по найбільшому відхиленню стрілки індикатора.

Для виміру радіального зазору в підшипниках ТЕД використовують пристрій типу УИРЛ, що включає магнітний штатив (безконтактну магнітну педаль типу ПБМ-56), систему ламких важелів і індикатор годинного типу. Пристрій кріплять за допомогою магнітного штатива на кістяку електродвигуна, а штангу індикатора встановлюють вертикально на доступну ділянку вихідного кінця вала ТЕД.

Потім пристрій закріплюють на протилежному кінці кістяка електродвигуна, а штангу індикатора вертикально розташовують на поверхні колектора (при

вимірі зазору підшипника з боку колектора).

У процесі вимірів до двох верхніх додаткових полюсів короткочасно подають напруга від регульованого низьковольтного джерела. Якір ТЕД піднімається електромагнітною силою додаткових полюсів при струмі близько 200 А. Радіальний зазор відповідного підшипника визначають найбільшим відхиленням стрілки індикатора, діленим на $\cos 45^\circ$ (0,707). Значення радіального зазору, що допускається, підшипників ТЕД тролейбусів ЗіУ-9 0,3 мм, тролейбусів Тр-9, Тр-14 0,5 мм.

Вимір рівня вібрації ТЕД здійснюють на роликовому стенді з використанням приладу ВШВ 0,03, з датчиками віброприскорення.

Якість комутації інтегрально оцінює стан деяких параметрів і є об'єктивною оцінкою колекторно - щіткового вузла, магнітної системи й інших елементів ТЕД.

Контроль якості комутації роблять на стенді роликового типу. При цьому момент, який розвивається ТЕД, сприймається і контролюється стендом роликового типу, а струм ТЕД контролюється амперметром пульта водія, або амперметром, встановленим на секційованій ділянці контактної мережі.

Комутація вважається нормальною, якщо при номінальному струмі електродвигуна під краєм електрощітки відсутні або спостерігаються іскри білого чи блакитно-білого кольору невеликого розміру («крапкове іскріння»).

При наявності витягнутих іскор жовтуватого відтінку комутацію визнають незадовільно, і ТЕД повинний бути продіагностований більш глибоко.

Контроль стану ізоляції виконується шляхом виміру її опору. Погіршення ізоляційних властивостей обмоток з позиції відновлювальних робіт можна розділити на дві групи: зниження опору ізоляції через її зволоження або забруднення; зниження опору не зволоженої ізоляції до неприпустимих значень унаслідок старіння або її механічних ушкоджень.

Якщо в другому випадку відновлення ізоляції може бути виконано тільки при розбиранні ТЕД, то в першому необхідні властивості ізоляції можуть бути відновлені сушінням ТЕД без його демонтажу з тролейбуса.

Досить інформативним параметром, що характеризує ступінь зволоження ізоляції, є коефіцієнт абсорбції Ка. Його визначають як відношення опору ізоляції

R60 через 60 с із, моменту прикладення випробної напруги до значення опору R15 цієї ж ізоляції через 15, тобто $K_a = R_{60}/R_{15}$. Струм, що проходить через ізоляцію в часі при прикладанні напруги від мегаометру, має вид, представлений на рисунку 1.2 Для чистої і сухої ізоляції струм I_a значно перевершує струм I_y , тобто значення K_a більше одиниці (до 2 і більш), тому що:

$$K_a = R_{60}/R_{15} = (I_a + I_y)/I_y = 1 + I_a/I_y$$

Значне зволоження ізоляції, особливо її внутрішніх шарів, чи поверхнєве забруднення викликає різке збільшення струму I_y , у результаті чого значення I_a знижується майже до нульового тобто коефіцієнт K_a стає близьким до одиниці.

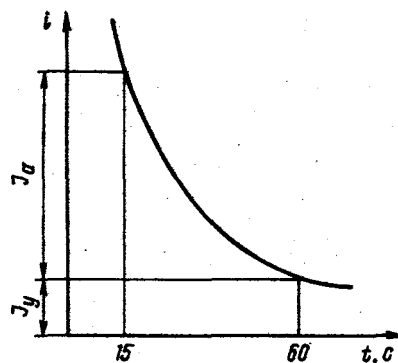


Рисунок 1.2 Зміна струму витoku i за час t .

Вимір коефіцієнта K_a партії ТЕД на електротехнічній ділянці цеху ремонтів після ретельного сушіння двигунів показує, що коефіцієнт абсорбції сухої ізоляції ТЕД знаходиться в межах 1,24—1,5. Ізоляцію ТЕД з $K_a < 1,2$ варто вважати зволоженою і піддавати її сушінню.

Вибір коефіцієнта абсорбції можна робити за допомогою мегаомметра Ф-4100, у якому передбачена сигналізація інтервалів у 15 і 60 с.

Для відновлення зволоженої ізоляції ТЕД без демонтажу його з машини в НДКТІ МГ розроблений пристрій типу УВІ-269. Воно являє собою переносної тепло-агрегат масою до 30 кг який підігріває повітря, коли він встановлюваний на відкритий люк ТЕД. Система змінних насадок дозволяє використовувати пристрій для відновлення ізоляції ТЕД усіх типів тролейбусів і трамваїв. Тепле повітря

температурою до 80 °С и обсягом 900 м³/год, проходячи через електричну машину, рівномірно нагріває її, висушуючи ізоляцію обмоток статора і ротора. Сушіння здійснюють з періодичним контролем відношення R60/R15.

Застосування УВІ дає річний економічний ефект більше 4,0 тис. грн. на парк із 200 тролейбусів. Він досягається за рахунок того, що при існуючій технології ТЕД зі зволоженою ізоляцією демонтують з машини і сушать у стаціонарній камері. Час, затрачений тільки на демонтаж ТЕД із тролейбуса і наступну установку його, займає згідно нормативів 5,3 чол·год, у той же час при відновленні ізоляції за допомогою УВІ трудовитрати не перевищують 0,25 чол·год, а сам процес відновлення займає 1,5—4 ч у залежності від стану ізоляції.

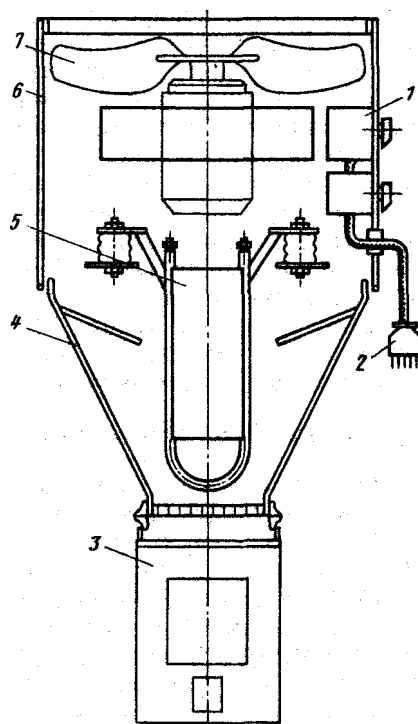
Крім заглибленого діагностування, тягові електродвигуни піддають візуальному контролю на ТО з одночасним виконанням профілактичних операцій, змащення, кріпильних робіт, чищення поверхні ізоляторів щіткотримачів і, при необхідності, поверхні колектора. Чищення колектора ТЕД у більшості депо здійснюють при «вивішеному» ведучому мосту періодичному підключенні ТЕД до напруги контактної мережі. З меншою витратою праці і більш безпечно чищення (шліфування) поверхні колектора можна здійснити на роликову стенді при обертанні роликів стенда з невеликою швидкістю. Особливо ефективним, профілактичним впливом є відсмоктування пилу з одночасною продувкою стисненим повітрям із протилежної сторони. Очищення від пилу колекторно - щіткового вузла і вентиляційних каналів ТЕД і інших високовольтних електричних машин найкраще робити з використанням стаціонарного пиловідсмоктуючого агрегату, який встановлений в окремому приміщенні, з підключенням повітряних каналів до ліній технічного обслуговування.

Під час огляду її ТЕД контролюють стан поверхні колектора, а саме колір пластин, ступінь і характер їх забруднення. Цей показник дозволяє побічно, але досить впевнено оцінити якість комутації і вихід за припустимі межі деградуючих параметрів. Ефективність суб'єктивного методу діагностування ТЕД і інших електричних машин може бути підвищена, якщо застосовувати необоротні термоіндикатори.

Термоіндикатори плавлення, представляють собою хімічну речовину яка

виконана у виді олівця або фарби, які наносяться на поверхню, температура якої підлягає контролю.

Термоіндикатори практично не мають маси. Вони можуть наноситися не тільки на нерухомі, але і на обертові елементи електричних машин і апаратів — обмотки, струмопровідні елементи, корпуси підшипників і ін. На контрольовану поверхню наносять той індикатор, критична температура якого дорівнює припустимій температурі нагрівання. При візуальному огляді електричної машини про порушення теплового режиму судять по зміні кольору індикатора. Це є підставою для більш детального обстеження машини з пошуком конкретної причини на рівні елементів.



1- пакетний вимикач, 2- видка чотирьох полюсна , 3 насадка, 4 – сопло, 5- нагрівач, 6- кожух, 7 – вентилятор.

Рисунок 1.3- Пристрій типу УВІ –269 для відновлення ізоляції електричних машин.

Слід зазначити, що процеси втрати працездатності інших високовольтних електричних машин (електродвигунів компресора, генератора, насоса гідропідсилювача тролейбусів) аналогічні процесам зносу ТЕД. Тому методи діагностування останніх застосовні і для інших високовольтних електричних

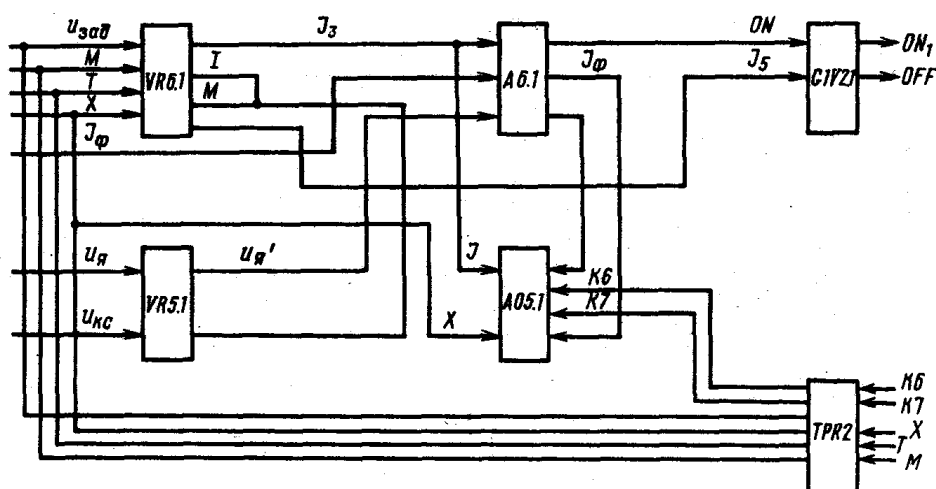
машин рухомого складу міського електротранспорту.

1.2 Діагностування тиристорно - імпульсних систем управління

З 1999 року в Україні освоїли виробництво тролейбусів з імпульсною системою управління тяговим приводом. Це насамперед тролейбуси типу К 12.03, К 12.04 , які виробляє Київський державний авіаційний завод “Авіант”. Крім того в експлуатації знаходяться тролейбуси с аналогічної системою управління тяговим приводом , які виробленні в Чехії (14ТР, 15ТР) , та декілька тролейбусів виробництва Росії (ЗІУ 683). Виготовлені вітчизняні зразки і трамвайних вагонів з імпульсною системою управління. Це вагони типу ЛТ 10, що вироблені в Луганську (ХК “Луганськ тепловоз” та типу “К1-Київ” , що вироблені в дніпропетровську (СП “Татра-Юг”).

Експлуатація РС із ТІСУ підтвердила, що вони дозволяють знизити витрату електроенергії на рух, а також істотно зменшити трудомісткість процесів обслуговування і ремонту в порівнянні з РС, обладнаним контакторно - реостатними системами управління.

Розглянемо проблеми діагностування машин з ТІСУ на прикладі тролейбусів типу ТР-14.



VR6.1 - плата формуючих і керуючих кіл; А6.1 - плата двопозиційного регулятора струму; G1V2.1 — плата кіл включення тиристорів; VR5.1 - плата кіл обмеження напруги; AO5.1 - регулятор ослаблення порушення; ТР2 - плата кіл гальванічної розв'язки.

Рисунок 1.4 - Структурна схема блоку управління тиристорами тролейбуса ТР-14

Тиристорно-імпульсна система управління включає два основних блоки — управління і силовий. Блок управління тиристорами тролейбуса ТР-14 (рис. 1.5) конструктивно складається з каркаса, у якому встановлені автономні плати, з'єднані за допомогою рознімачів. Передбачено роз'єми для стикування блоку з іншими блоками й апаратами тролейбуса. Маються також роз'єми для підключення зовнішніх засобів діагностування.

Основними апаратами силового блоку ТІСУ тролейбуса Тр-14 є головні тиристири V17 і V18, комутуючий тиристор V16, комутуючої ємності 312 і що згладжує СФ, дроселі L1 – L5, силові діоди. Усі тиристири і діоди силового блоку зашунтовані колами з послідовним з'єднанням резистора і ємності, які іменовані надалі RC-колом. Апарати силового блоку укріплені, як правило, до його каркаса через ізоляційні конструкції за допомогою кріпильних з'єднань.

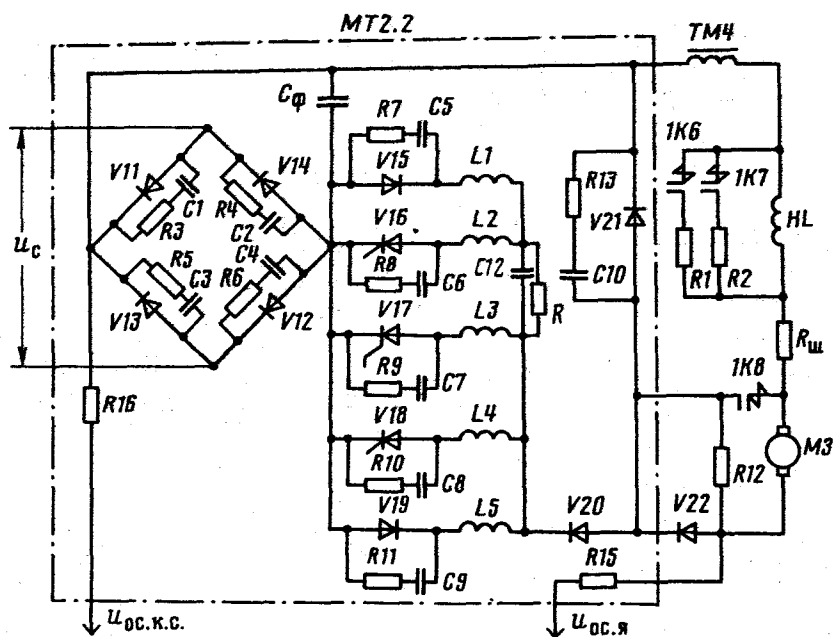


Рисунок 1.5- Принципова електрична схема силового блоку ТІСУ тролейбуса ТР-14

Досвід експлуатації імпульсних систем управління тяговим приводом свідчить, що відмови в основному спостерігаються за наступними елементами електричного приводу: мікросхеми, діоди, стабілітрони, контактні з'єднання плат, тиристири, ємності, резистори.

Відмови інтегральних мікросхем підрозділяють на три групи:

- відмови, що обумовлені фізико-хімічними процесами в напівпровідниках;

- відмови, пов'язані з процесами на поверхні кристала;
- відмови, що залежать від контактних з'єднань.

Найбільш слабкою ланкою інтегральних мікросхем є внутрішні з'єднання між контактними площадками на кристалі і виводами корпусу, що викликають обриви електричних кіл. Такі відмови мають місце в інтегральних схемах у управляючої частині регулятора.

Крім того, значна частина відмов пов'язана з порушенням контакту виходів мікросхеми з доріжками плат.

Відмови, пов'язані з внутрішніми з'єднаннями між контактними площадками на кристалі і виводами корпусу, а також відмови через порушення контакту в місцях пайки до доріжок плат, носять нерідко перемежований характер (відмова то виникає, то зникає), що значно ускладнює пошук несправного елемента.

У силових напівпровідникових приладах (тиристорів і діодів) найбільша частина відмов обумовлена пробоем р-п переходів. Крім того, спостерігаються обриви або перегорання внутрішніх виходів, розтріскування кристала. У переважній більшості випадків відмови силових напівпровідникових приладів є вторинним явищем, якому передують виникнення несправностей в інших колах ТІСУ.

Найбільш характерними випадками несправностей — відмов елементів, що не призводять до негайної втрати працездатності тролейбусів, однак різко підвищувальна імовірність відмов машини, — є обриви (перегорання) захисних RC-ланцюгів, порушення зворотного зв'язку по напрузі в режимі електродинамічного гальмування через перегорання резистора R15 (див. рис. 1.5), пробій діода VI5 з наступним порушенням теплового режиму дроселя L1.

При обриві RC-кола на відповідному напівпровідниковому приладі силового блоку збільшуються в момент комутації короткочасні (до 15 мкс) піки напруги, що перевищують номінальну напругу в декілька разів. Якщо така несправність не буде вчасно виявлена і ліквідована, то це приведе до катастрофічного (раптовому) виходу з ладу тиристора або діода з відмовою РС.

При порушенні зворотного зв'язку по напрузі, що частіше відбувається внаслідок перегорання резистора R15, у момент інтенсивного електродинамічного

гальмування з високої швидкості можливе виникнення колового вогню на колекторі ТЕД з наступною відмовою двигуна. Ймовірна також відмова силових напівпровідникових приладів через збільшену напругу в колах у момент гальмування.

При пробі діода V15 через дросель L1 починає проходити струм подвійної частоти (в обох напрямках), що призводить до збільшення температури обмоток дроселя, ушкодженню ізоляції і відмові останнього.

Слід зазначити, що приведені несправності не виявляються зовні, вони можуть бути виявлені тільки в процесі діагностування за допомогою технічних засобів. У протилежному випадку ці несправності призводять до відмови дуже дорогих елементів ТІСУ.

Однією із серйозних несправностей, що також не виявляється зовні, є зменшення ємності батарей фільтра. Це відбувається внаслідок порушення герметичності, пробою, а потім перегорання частини паралельно з'єднаних конденсаторів або обриву зовнішніх з'єднань. У результаті зменшення загальної ємності батареї значно зростає рівень пульсації напруги, що інтенсифікує знос ТЕД, приводить до перенапруг, збільшує перешкоди теле- і радіо прийому.

Однієї з зовнішніх причин відмов елементів ТІСУ є підвищені вібрації кузова тролейбуса при несправностях ТЕД, карданного вала, мотор-компресора, мотор-вентилятора. Друга зовнішня причина відмов - забруднення плат з одночасним порушенням їхніх захисних плівок. У цьому випадку, особливо при високій вологості повітря, виникають помилкові струмопровідні перемички між доріжками плат. Має місце також пробій між радіаторами силових напівпровідникових приладів при наявності на них забруднень.

У цілому аналіз відмовлень елементів ТІСУ показує, що відмови носять, за рідкісним винятком, раптовий характер. До цього часу отриманий досвід експлуатації тролейбусів з ТІСУ не дозволив переконливо довести наявність параметрів технічного стану елементів ТІСУ, що монотонно змінюються з наробітком і дозволяють прогнозувати залишковий ресурс елементів. У цьому напрямку необхідні глибокі науково-дослідні роботи.

На залізничному транспорті проведені дослідження з пошуку методів

визначення залишкового ресурсу силових напівпровідникових приладів. Запропоновано метод контролю технічного стану тиристорів за значенням внутрішнього електричного опору. Рекомендується як датчики опору використовувати граничні підсилювачі.

Діагностування силових діодів здійснюють по двох параметрах — тепловому опору і зворотному струму. Запропоновані також інші методи і засоби діагностування тиристорів і діодів: по струмах витоку в прямому і зворотному напрямках, часі включення тиристорів і відновлення напівпровідникових вентилів і ін.

Аналіз показує, що відомі методи контролю технічного стану (залишкового ресурсу) силових напівпровідникових приладів вимагають застосування дуже складної апаратури підвищеної точності і тому поки недоцільні для умов депо. Не набраний ще також достатній статистичний матеріал для обґрунтування заміन деяких елементів ТІСУ по наробітку.

З урахування сказаного найбільш доцільною стратегією забезпечення працездатності ТІСУ є проведення нетрудомістких обслуговуючих робіт з наробітку (видалення пилу, чищення, підтяжка кріпильних з'єднань). Будь-які ремонтні роботи повинні проводити тільки за станом, що визначається за результатами діагностування блоків ТІСУ.

Методи і засоби діагностування повинні дозволяти здійснювати контроль з різною глибиною, а саме:

- при відмові РС — пошук блоку, що відмовив, а потім плати в блоці, що відмовила або елемента управління, що відмовив у силовому блоці;
- при плановому діагностуванні ТІСУ — контроль справності і правильності функціонування на рівні плат блоку управління й елементів силового блоку;
- при діагностуванні блоку, що відмовив або плати в умовах агрегатного цеху — пошук елемента, що відмовив;
- контроль параметрів і правильності функціонування блоків, плат після їхнього відновлення в агрегатному цеху.

Вкрай важливим є заглиблене діагностування блоків ТІСУ після відмови машини з метою пошуку, крім елемента, який сприяв відмові тролейбуса,

можливого відмовлення іншого елемента, що передував відмові основного елемента. Так, заміна тиристорів, що відмовили, чи силових діодів без контролю справності РС- кіл може привести до повторного виходу з ладу цих дорогих апаратів, якщо має місце обрив РС-кола. Таке ж діагностування блоків ТІСУ доцільно проводити після відмови ТЕД, силового дроселя й ін.

Конструкція блоку управління у виді легкоз'ємних плат, уніфікація вхідних і вихідних сигналів, що виключає необхідність взаємного узгодження параметрів плат блоку, дозволяють відновлювати блоки ТІСУ заміною плат безпосередньо на РС. Подальший ремонт несправної плати, починаючи з пошуку елемента, що відмовив, ведеться в найбільш сприятливих умовах — на електронній ділянці агрегатного цеху.

З урахування цього діагностування блоків управління ТІСУ безпосередньо на РС доцільно вести тільки до глибини плати. Наприклад, при плановому діагностуванні застосовують два методи: контроль справності частини плат без демонтажу їх із тролейбуса за допомогою переносного пристрою ZR2.1, знімання частини плат для контролю на електронній ділянці агрегатного цеху за допомогою стаціонарного пристрою типу УДБТ. У першу групу входять плати, робочі сигнали, на які можуть бути подані при нерухомому тролейбусі, у другу — плати, для контролю яких необхідно задавати різні режими реального руху.

При діагностуванні машини, що відмовила, контроль блоку управління ведуть також двома методами: контролем справності частини плат за допомогою пристрою ZR2.1 і діагностуванням інших плат методом заміन, тобто послідовною установкою явно справних плат з ремонтного комплекту.

Для діагностування плат блоку управління на електронній ділянці агрегатного цеху тролейбусного депо НДКТІ МГ розроблений пристрій типу УДБТ, що є основним видом устаткування робочого місця діагноста. Крім того, робоче місце комплектують двопробічним осцилографом, блоком управління ТІСУ, приладами й інструментом.

Пристрій типу УДБТ дозволяє імітувати сигнали, адекватні реальним при русі тролейбуса в різних режимах. Це дає можливість здійснювати повний контроль правильності функціонування керуючого регулятора з імітацією

зворотного зв'язку по струму, а також контроль блокування керуючих імпульсів на головних тиристорах при зменшенні напруги мережі в режимі тяги і збільшенні напруги на якорі тягового двигуна в режимі електродинамічного гальмування і т.д.

Функціонально УДБТ складається з:

- блоку контролю джерел живлення;
- блоку імітації напруги зворотного зв'язку;
- стабілізованого блоку живлення з регульованою на виході напругою 15-30 В;
- двоконтактного транзисторного перетворювача напруги з індивідуальним джерелом стабілізованої напруги;
- двох імпульсних трансформаторів;
- потенціометра, що задає;
- блоку імітації напруги контактної мережі.

Пошук елемента, що відмовив, у платах блоку управління нерідко досить тривалий процес, що вимагає участі висококваліфікованого персоналу. З цього приводу особливо актуальним є оптимізація процесів контролю, насамперед мінімізація контрольних операцій при пошуку несправності. З найменшими витратами часу такий контроль може бути здійснений при використанні автоматизованих і автоматичних пристроїв з елементами обчислювальної техніки, що дозволяють по розробленій програмі задати необхідні тестові впливи на блок, що перевіряється, вузол, плату, а потім згідно аналізу реакції об'єкта контролю на зовнішні впливи локалізувати несправність.

Діагностування ТІСУ може вестися оператором з використанням пристрою типу УДБТ і стандартних контрольно-вимірювальних приладів. З метою підвищення продуктивності праці оператора алгоритм контролю доцільно розробити заздалегідь і безперервно удосконалювати його в міру одержання більш представницької інформації про надійність конкретних елементів і блоків ТІСУ.

Як показують дослідження, проведені в НДКТІ МГ, найбільш ефективним методом представлення взаємозв'язків між станом об'єкта, його елементами і параметрами є графоаналітичні моделі.

За допомогою орієнтованих графів і їхніх відображень можна найбільше наочно представити зв'язки між платами регулятора або елементами конкретної плати і простежити з мінімальною витратою часу правильність проходження сигналів.

Методи пошуку несправностей, які застосовуються при діагностуванні радіоелектронних пристроїв, аналогічних по конструкції ТІСУ, підрозділяють на метод «час — імовірність», метод половинної розбивки по імовірності, метод діагностичних таблиць.

Як показали результати досліджень по діагностуванню ТІСУ тролейбусів, кожний з цих методів найбільш ефективний для конкретного схемного рішення вузла і реальної структури блоку, плати.

При методі контролю «час — імовірність» оптимальну послідовність пошуку несправності елемента вибирають з умови :

$$\tau_1/P_1 < \tau_2/P_2 < \dots < \tau_i/P_i$$

де τ — середній час операції контролю справності і-того елемента;

P_i — умовна імовірність відмови і-того елемента.

Якщо витрати часу на контроль всіх елементів однакові, то тоді оптимальна послідовність такого контролю прийме вигляд:

$$P_1 > P_2 > \dots > P_i$$

Найбільш типовим способом діагностування плат ТІСУ, є подача вхідного сигналу на коло послідовно з'єднаних елементів і контроль реакції на цей сигнал на виходах кожного з елементів. У цьому випадку необхідно визначити оптимальну процедуру контрольних операцій з урахуванням надійності кожного з елементів.

Задачу вирішують контролем сигналу в одній із точок кола з наступним виділенням частини кола з несправним елементом, розподілом її надалі знову до двох частин і т.д., до локалізації у виді ділянки кола несправного елемента.

Пошук елемента, що відмовив, буде здійснений з мінімальною витратою часу, якщо об'єднання елементів у ділянки кола для контролю щораз буде

виконуватися з урахуванням розподілу вищеописаної ділянки з несправністю навпіл по імовірності відмови елементів, що входять у цю ділянку, а саме з урахуванням умови:

$$\sum_{i=1}^k P_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^k \lambda_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)} = 0.5 \quad (1.1)$$

де до-номер елемента, за яким виробляється контроль реакції ділянки ланцюга на вхідний сигнал;

n — число елементів у контрольованій ділянці кола;

λ - інтенсивність відмови i -го елемента.

Умова справедлива для найбільш типового випадку, коли час контролю сигналу на будь-якій ділянці ланцюга приблизно однаковий. Вибір точок контролю по цій умові називають *методом половинної розбивки по імовірності*.

При заповненні діагностичної таблиці правильному проходженню i -го тесту при j -ій несправності привласнюють у відповідній клітинці цифру 0, а неправильному —1.

При контролі об'єкта (в основному плати блоку управління ТІСУ) оператор послідовно подає контрольні сигнали i , якщо реакція на виході на всі сигнали виявилася правильною, робить висновок про відсутність несправностей у даному об'єкті. У протилежному випадку заповнюється стовпець з оцінками 0 і 1 на правильне і неправильне проходження всіх контрольних сигналів, а потім цей стовпчик порівнюють з діагностичною таблицею. Це дозволяє знайти стовпчик з таким же сполученням цифр 0 і 1 у таблиці і відповідний йому номер несправності. Так, показаний в таблиці 10.2, 6 стовпчик відповідає несправності № 3 діагностичні таблиці.

У деяких випадках вихідні параметри, що знімають з елементів плати, представляють електричні сигнали, які змінюються в часі. Висновок про правильність сигналу, а виходить, про справність ділянки кола плати чи блоку дають, зіставляючи отриману картину процесу з заданою.

Для діагностування елементів силових блоків ТІСУ НДКТІ МГ створений

переносний пристрій УДБ, що призначений і для пошуку елемента, що відмовив, і для контролю справності силових блоків як безпосередньо на тролейбусі, так і на електротехнічній дільниці агрегатного цеху.

1.3 Ізоляція високовольтних ланцюгів

З погляду електробезпеки тролейбус є унікальним об'єктом техніки, оскільки не дивлячись на високу напругу (600В), якою харчується велике число його електричних машин і апаратів., корпус тролейбуса не має заземлення і ізольовано від землі гумовими шинами,

В умовах, коли є постійне торкання корпусу машини пасажирями при посадці і висадці, попадання високого потенціалу на корпус тролейбуса, представляє надзвичайно велику небезпеку, іноді закінчується навіть смертельними випадками. Не меншу небезпеку має потенціал на корпусі тролейбуса для обслуговуючого персоналу депо, особливо мийно-прибиравальних зон, де в умовах підвищеної вологості, поразка електричним струмом завжди приводить до важких наслідків. Крім того, при виконанні технологічних операцій переміщення тролейбуса з низьким опором ізоляції іноді приводило до травмування обслуговуючого персоналу через розрив покриття шин коліс від протікання значного по величині струму.

Як правило, оцінку електробезпеки тролейбуса ведуть по трьох параметрах:

- електричної міцності ізоляції
- опору ізоляції ($R_{із}$);
- струму витoku (I_y).

Дані два параметри взаємозв'язані проте в експлуатації вони використовуються по різному. Так опір ізоляції, є характеристикою працездатності ізоляції електричного устаткування тролейбуса, а струм витoku, є інтегральною характеристикою його безпеки.

Причини погіршення електробезпеки тролейбуса

Причиною попадання на корпус тролейбуса небезпечного потенціалу, є погіршення ізоляції високовольтного устаткування. Погіршення стану ізоляції відбувається під впливом експлуатаційних чинників, під впливом яких

відбуваються хімічні перетворення діелектричного матеріалу ізоляції, особливо в дротах, обмотках електричних машин що приводять до появи тріщин зниженню діелектричних характеристик.

Погіршені властивості ізоляції проявляють себе по різному в різних зовнішніх умовах. Так при роботі електроустаткування в сухому середовищі, це погіршення може і не впливати на працездатність ізоляції і струму витоку, як і опір ізоляції будуть в нормі.

В той же час при попаданні електроустаткування у вологе середовище, наприклад за наявності атмосферних опадів, чи попаданні бризок води на ізоляцію при виконанні мийно-прибиральних робіт, опір ізоляції різко знижується, з'являється небезпечний для життя людини потенціал на корпусі тролейбуса і відповідно струм витоку.

В періоди рясного сніготанення, дощу має місце попадання вологи на обмотки тягового двигуна, двигуна компресора і інше устаткування, що знаходиться на даху і під підлогою тролейбуса, що приводить до збільшення електропровідності ізоляції.

В сиру погоду погіршується ізоляція не тільки обмоток і дротів, але і додаткових ступенів ізоляції з твердих ізоляційних матеріалів-фарфорових ізоляторів колекторно- щіткових вузлів, кріплення струмоприймачів, пуско-гальмівних опорів, електричних машин, що знаходяться під кузовом тролейбуса. Природне осідання пилу в процесі руху тролейбуса по маршруту та додаткові ступені ізоляції приводить до зниження опору навіть тільки при підвищеній вологості повітря (більше 85%). Краплі вологи, забруднень і солі, осідаючи на поверхні ізоляторів і ізоляційних матеріалів є причиною зниження опору ізоляції і появи небезпечних значень струму витоку.

Таким чином, тролейбус з одним і тим же технічним станом ізоляції володіє різними властивостями в частішій електробезпеці за різних метеорологічних умов. Як видно з рис 1.1. і таблиці 1.1., ізоляція електричних ланцюгів тролейбусів 14ТР є однією з мало надійних систем тролейбуса.

Таблиця 1.1 Дане про відмови ізоляції

Місяць	Тролейбус типу ТРІ4	Тролейбус типу ТР15	Всього за місяць
Січень	31	1	32
Лютий	6	2	8
Березень	4	1	5
Квітень	1	1	2
Травень	2	1	3
Червень	3	1	4
Липень	11	2	13
Серпень	3	1	4
Вересень	4	2	6
Жовтень	5	1	6
Листопад	5	1	6
Грудень	20	7	27

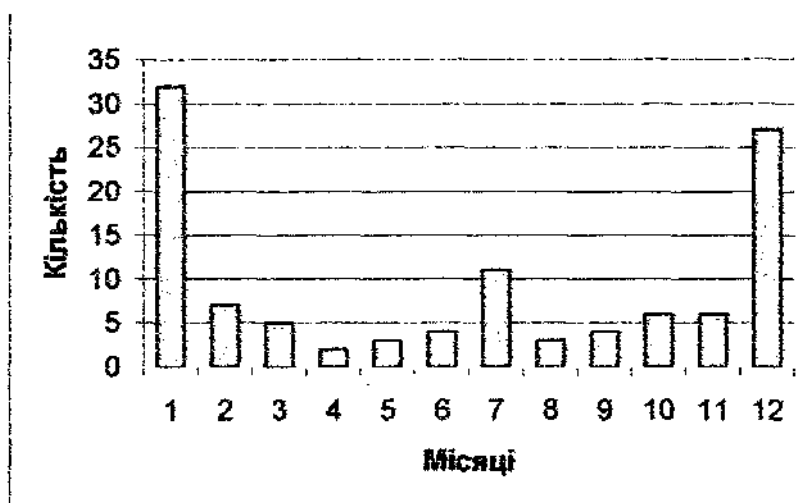


Рис. 1.6 Розподіл числа відмов по місяцях року.

Як видно, з гістограму приведеної на малюнку 1.1, найбільша кількість відмов доводиться на місяці в яких найбільш вірогідні осідання у вигляді снігу і дощу.

1.3. Напрями підвищення електробезпеки тролейбуса

Створення методів і технічних засобів, що дозволяють виключити випадки поразки електричним струмом пасажирів і обслуговуючого персоналу, є виключно важливою задачею.

В процесі життєвого циклу, кожний тип тролейбуса знаходиться в різних станах (див.рис. 1.6.), умовно які можна згрупувати в три етапи:

- створення
- експлуатація
- списання

З вказаних трьох етапів життєвого циклу тролейбуса найважливішим є перший етап життєвого циклу, оскільки саме на ньому закладаються основи електробезпеки тролейбуса. На другому етапі життєвого циклу закладені основи електробезпеки. тролейбуса можуть підтримуватися у встановлених межах, проте параметри оцінки ніколи не матимуть значень вище ніж це було закладено на першому етапі життєвого циклу, ходячи саме на цьому етапі завжди існує вірогідність поразки електричним струмом пасажирів і обслуговуючого персоналу.

Другий етап є контрольним з погляду оцінки обґрунтованості і правильності ухвалених технічні рішення на першому етапі по забезпеченню електробезпеки тролейбуса

Третій етап життєвого циклу тролейбуса не є небезпечним з погляду забезпечення електробезпеки тролейбуса і на ньому електробезпека

забезпечується завжди при неухильному дотриманні правил на техніки безпеки.

Таким чином рішення даної задачі забезпечення електробезпеки тролейбуса повинне забезпечуватися трьома шляхами:

- * вдосконаленням конструкції тролейбуса за рахунок використання ізоляційних матеріалів з поліпшеними діелектричними властивостями, збільшенням числа ступенів ізоляції між струмоведучими частинами і кузовом, кращою герметизацією вузлів тролейбуса.
- * розробки ефективної системи контролю електробезпеки тролейбуса
- * створенням ефективних засобів контролю технічного стану елементів електричного устаткування, що впливають на електробезпеку.

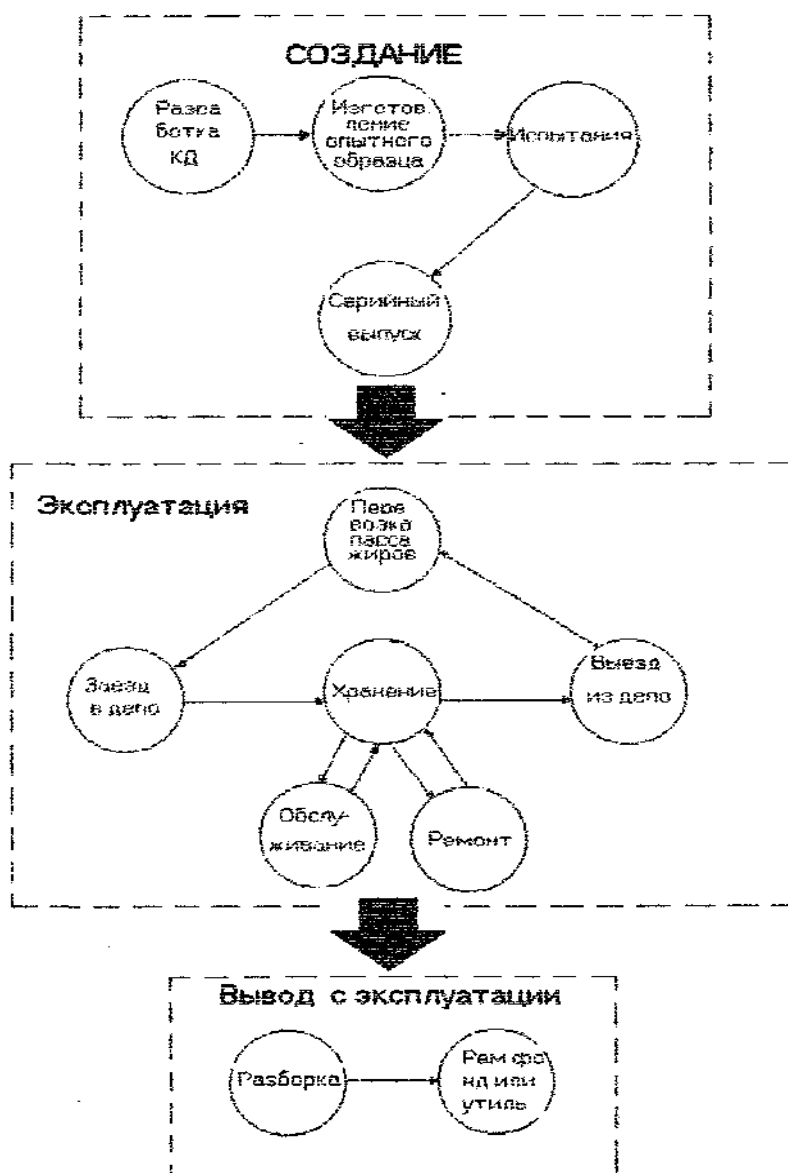


Рисунок 1.7. Граф станів тролейбуса в період життєвого циклу

Перший шлях застосовується більшою мірою на першому етапі життєвого циклу тролейбуса і частково на другому, коли тролейбус знаходиться в капітальному ремонті.

Другий і шлях більшою мірою застосовний на етапі експлуатації тролейбуса і частково на першому етапі, коли проводяться попередні, приймальні і надалі сертифікаційні випробування.

Створення засобів контролю технічного стану ізоляції тролейбуса, є загальним шляхом для першого і другого етапу життєвого циклу тролейбуса.

Нормативи оцінки електробезпеки

Опір ізоляції

Основи електробезпеки тролейбуса, які закладаються на етапі його розробки забезпечуються шляхом:

- дотримання вимог нормативної документації в частині забезпечення необхідного опору ізоляції;
- пристроєм додаткових ступенів ізоляції;
- застосування матеріалів з поліпшеними діелектричними властивостями;
- вдосконаленням методик випробувань електробезпеки нових тролейбусів на етапі попередніх і приймальних випробувань

Існуюча нормативна база містить вимоги, які можуть бути застосовані для оцінки електробезпеки тролейбуса включає::

- ГОСТ 12.1.036 Система стандартів безпеки праці
Електробезпека. Гранично допустимі рівні напруги дотику і струмів.
- Правила експлуатації трамвая і тролейбуса
- Правила техніки безпеки на міському електротранспорті.
Трамвайні і тролейбусні депо.

Вказані вище нормативні документи містять вимоги до значення параметрів електробезпеки, перевищення яких приводить до поразки людини електричним струмом і призначені для застосування в процесі експлуатації.

Єдиним документом, де регламентуються вимоги до струму витoku і загального опору ізоляції нових типів тролейбусів, є ГОСТ 23772

Тролейбуси пасажирські. Методи випробувань. В даному нормативному документі встановлюються вимоги до струму витoku (не більше 1 мА) і загального опору ізоляції (не менше 5мОм) при цьому не указуються умови при яких повинні забезпечуватися вказані значення.

Правила техніки безпеки в частині вимог до електричного устаткування регламентують «При включенні всіх високовольтних ланцюгів тролейбуса струм витoku між корпусом кузова і землею в сиру погоду не повинен перевищувати 3 мА. Опір ізоляції повинен не менше 3мОм».

Суперечність вимог, регламентованих обома документами до забезпечення електробезпеки тролейбуса, очевидна.

Введений в Україні ДСТУ 9219 « Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови», в частині вимог до ізоляції тягових апаратів, встановлює вимоги до опору ізоляції:

- за нормальних ютіматичних умов - 100мОм;
- після дії верхнього значення температури - 3мОм;
- після дії вогкості повітря - 0,5 мОм.

Згідно Правила пристроїв електроустановок, електричні установки не мають заземлення повинні мати додаткові ступені ізоляції, відповідно до цього в технічному завданні на проектування нового тролейбуса, як правило, задається вимоги по установки додаткових ступенів ізоляції на устаткування тролейбуса, яке встановлюється під кузовом і на даху тролейбуса.

Тому ухвалення нормативів опору ізоляції, регламентованих ДСТУ 9219 для тролейбуса в цілому не є правильним, оскільки при установки додаткових ступенів ізоляції вимоги будуть явно заниженими.

Виходом з даної ситуації може бути ухвалення за основу вимог ГОСТ 2165 Електрична ізоляція виробів ГСП. Технічні вимоги. Методи

випробувань, Б частині рядів опорів ізоляції, приведених в таблиці 1.2..., що рекомендуються.

Таблиця 1.2. Ряди опорів ізоляції, що рекомендуються.

Умови вимірювань опору	Мінімально допустимий електричний опір ізоляції мОм				
Нормальні умови	20	40	100	500	1000
При верхньому значенні температури робочих умов	5	10	20	50	200
При верхньому значенні відносної вогкості робочих умов	1	2	3	7	50

Стандартом встановлено, що мінімально допустиме значення опору ізоляції ланцюгів номінальною напругою вище 500В визначаються множенням значень вказаних в таблиці 2.1 на коефіцієнт, рівний відношенню номінальної напруги ланцюга до 500В.

Для рухомого складу міського електротранспорту номінальна напруга контактної сіті приймається рівним 550В, тоді значення коректуючого коефіцієнта буде рівне:

$$K_H = U_{кв} / U_n = 550 / 500 = 1,1 \quad (1.2)$$

Враховуючи значення коректуючого коефіцієнта мінімально доігуетимі значення електричного опору повинні відповідати, приведеним в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Нормативні ряди опорів ізоляції

Умови вимірювань опору	Мінімально допустимий електричний опір ізоляції, мОм			
Нормальні умови	44	110	550	1100
При верхньому значенні температури робочих умов	11	22	55	220
Іри верхньому значенні відносної вогкості робочих умов	2,2	33	7,7	55

Приймаючи за основу значення струму витоку в сиру погоду (3тА) згідно Правил технічної експлуатація трамвая і тролейбуса і можлива максимальна напруга в контактній сіті (720В), приведене у визначимо опір ізоляції; при якому забезпечуватиметься даний струм витоку :

$$R_{из}^e = \frac{U_{max}}{I_y} \quad (1.3)$$

де $R_{из}^e$ — опір ізоляції при вологій погоді

U_{max} - максимальна напруга в контактній мережі

I_y - струм витоку

Опір ізоляції для цього випадку буде рівний:

$$R_{из}^e = \frac{800}{3 \cdot 10^{-3}} = 266 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Використовуючи нормативи значень опору ізоляції, що рекомендуються, в сиру погоду (див.таб. 2.3), приймає за нормативне значення опір рівний 1 мОм.

Враховуючи 20 -ти кратне падіння ізоляції в сиру погоду в порівнянні з вологого приймає для нормальних умов опір рівний 20 МОм (см.табл.2.3). Струм витоку, для даного опору ізоляції, при вимірюванні в нормальних умовах буде рівний;

$$I_y = \frac{U_{\max}}{R_{из}^g} = \frac{800}{20 \cdot 10^6} = 40 \cdot 10^{-6}, A \quad (1.4)$$

Міцність ізоляції

Правильний вибір діелектричних матеріалів, установка додаткових ступенів ізоляції не завящи гарантують надійну роботу ізоляції тролейбуса, оскільки в процесі виконання збірки тролейбуса можуть мати місце місцеві пошкодження ізоляції. Для визначення пошкоджень ізоляції або помилок при розробці технічних рішень в частині ізоляції тролейбуса повинен критерій, що дозволяє визначати вказані вище події. Таким критерієм, як правило є параметр діелектрична міцність ізоляції, тобто здатність ізоляції витримувати підвищену напругу без пробою.

Вимогами ДСТУ 9219 встановлюються вимоги до рівня випробувальної напруги для тролейбусів. Величина випробувальної напруги визначається по формулі:

$$U_i = 1,25(2U_c + 1500) \quad (1.5)$$

Де U_i - випробувальна напруга, що округляється у велику сторону до найближчого значення кратного 100В;

U_c - номінальна напруга контактної мережі; Підставляючи початкові дані, отримаємо:

$$U_i = 1,25(2 \cdot 550 + 1500) = 3250 \approx 3300 \text{ В}$$

Струм витоку

Діючі нормативні документи, що регламентують граничне значення струму витоку, не обумовлюють умови його визначення. При тому підходить на увазі, що значення струму витоку не повинне перевищувати гранично допустиме за будь-яких умов.

Як і випадку визначення опору ізоляції норматив струму витоку (граничне значення струму витоку) при рішенні задачі допустити або недопустити тролейбус до перевезень пасажирів повинен враховувати, що під впливом зовнішніх чинників його значення може збільшитися і досягти гранично допустиме значення. Чинниками, які приводять до збільшення струму витоку є:

- підвищена напруга контактної мережі;
- в підвищена вогкість повітря.

Згідно діючих нормативних документів, номінальною напругою контактної мережі приймається напруга рівна 550В. При ньому діючий ГОСТ встановлює, що воно може досягати величини 720В.

В процесі виконання випробувань рухомого складу Науково випробувальним центром «Міський електротранспорт» були проведені вимірювання напруги контактної мережі на декількох ділянках тролейбусних маршрутів р. Києва. На рисунку 2.1. показана зміна напруги в контактній мережі в процесі руху тролейбуса. Як видно з малюнка фактичне значення напруга практично завжди більше величини 600В.

На підставі функції вірогідності розподілу величини напруги (див.рис.2.3.) можна сказати, що в 50% випадків, напруга контактної мережі буде більше 600В.

Середнє значення напруги в мережі під час виконання експерименту дорівнювало 675 В, стандартне відхилення 64,296,

Очікуваний рівень максимальної напруги можна визначити по критерію 3-х сигм:

$$U_c = U_{cp} + 3 \cdot \delta \quad (1.6)$$

де : U_{cp} - середнє значення напруги в контактній мережі;

δ - стандартне відхилення Підставивши наявні значення, отримаємо

$$U_c = 675 + 3 \cdot 64,296 = 867 \text{ В}$$

Таким чином, контроль струму витоку необхідно проводити при напрузі не менше 870В.

В тих випадках, коли технічний засіб не дозволяє встановити необхідне напруги контактної мережі при виконанні вимірювань допустиме значення струму витоку потрібне встановлювати виходячи з напруги контактної у момент вимірювання або використовувати значення, встановлене для максимальної величини напруги контактної мережі.

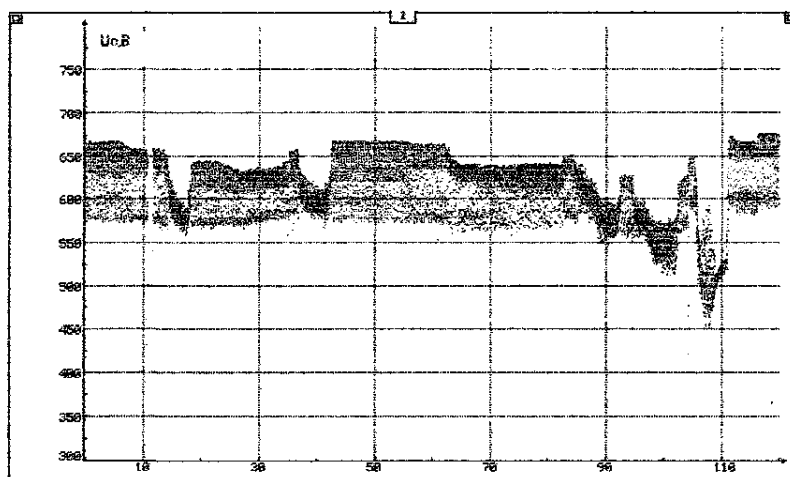


Рис 1.8 зміна напруги в контактній мережі

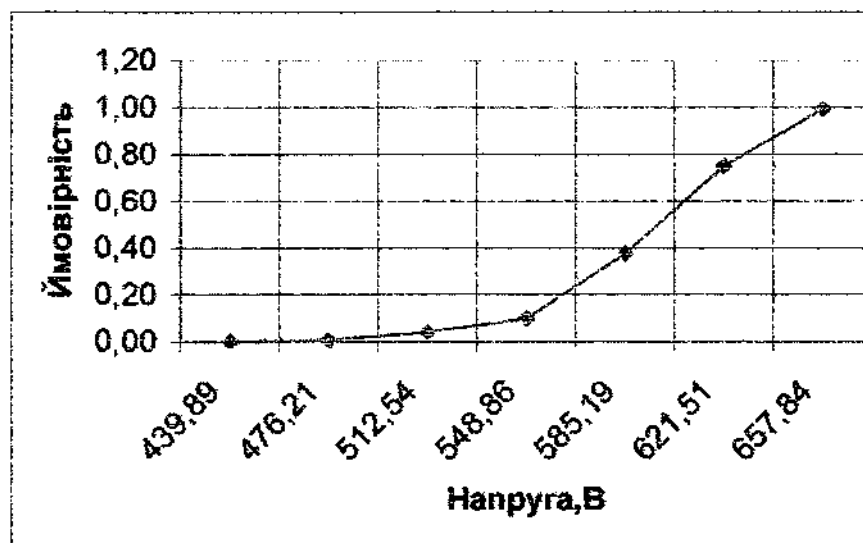


Рис.1.9 Функція розподілу напруги

Допустиме значення струму витоку при зміні напруги контактної мережі можна визначити з умови, що опір ізоляції тролейбуса при цьому залишається незмінним, тоді:

$$\frac{I_{нд}}{I_0} = \frac{U_{\max}}{U_{\phi}} \quad (1.7)$$

де : $I_{нд}$ - гранично допустиме значення струму витоку, 3мА;

I_0 - допустиме значення струму витоку

$U_{\max}$ - максимальна напруга контактної мережі, 870В;

U_{ϕ} - фактична напруга контактної мережі, В

Підставляючи початкові дані, отримаємо:

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi} I_{\phi 0}}{U_{\max}} = U_{\phi} \cdot \frac{3}{870} = \frac{U_{\phi}}{290} \quad (1.8)$$

Тільки облік рівня напруги в контактній мережі не є достатньою умовою для забезпечення електробезпеки тролейбуса, оскільки при одній і тій же напрузі може мінятися вогкість навколишнього середовища, у наслідок несприятливих метеорологічних умов.

Використовуючи ряди опорів ізоляції, що рекомендуються, визначимо коефіцієнт падіння опору ізоляції у вологих умовах по відношенню до нормальних:

$$K_n = \frac{R_1}{R_2} \quad (1.9)$$

де : K_n - коефіцієнт пониження опору ізоляції;

R_1 - опір ізоляції за нормальних умов;

R_2 - опір ізоляції при підвищеній вогкості

Розрахунок проводимо по всіх значеннях опорів ізоляції, приведених в таблиці 1.4., що рекомендуються

Таблиця 1.4. Ряди опорів ізоляції, що рекомендуються					
Умови вимірювань опору	Мінімально електричний МОм			допустимий опір ізоляції,	
Нормальні умови	20	40	100	500	1000
При верхньому значенні відносної вогкості робочих умов	1	2	3	7	50
Коефіцієнт падіння опору ізоляції K_n	20	20	33	71	20

Як видно з розрахунку, в що цікавить нас діапазоні можливих опорів ізоляції є 20 кратне падіння опору.

Тоді допустиме значення струму витоку повинне бути рівний:

$$I_o = \frac{U_{\phi}}{K_n \cdot 290} = \frac{U_{\phi}}{5800}$$

Допустимі значення струму витоку для різних рівнів напруги контактної мережі за несприятливих метеорологічних умов приведені на рисунку 2.3. На рисунку 2.4. показані допустимі значення струму витоку, при яких може бути дозволений випуск на лінію за умови очікування підвищення вологості навколишнього повітря.

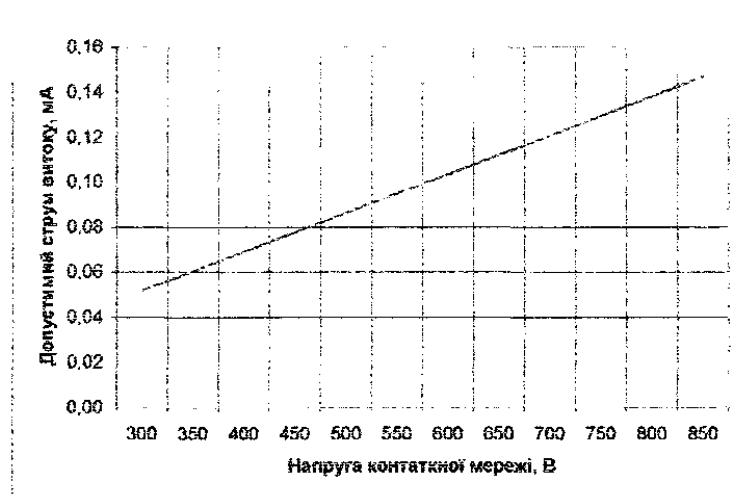


Рисунок 1.10 Допустимі значення струму витоку за несприятливих метеорологічних умов

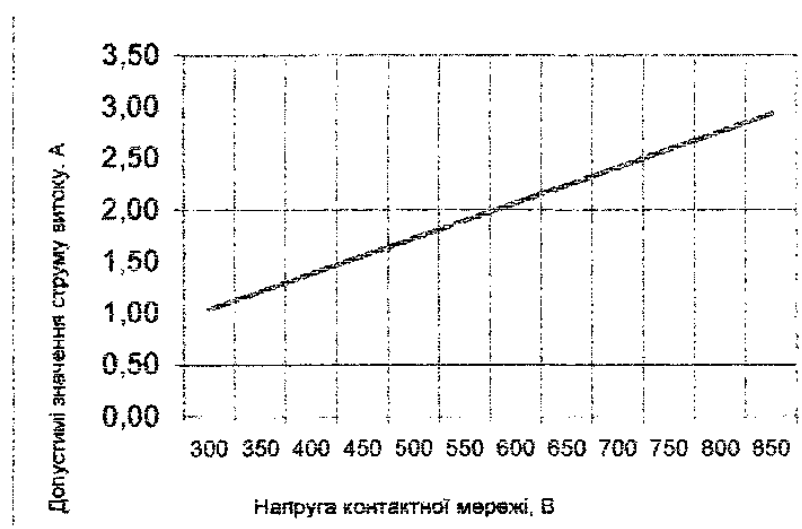


Рисунок 1.11 допустимі значення струму витоку за нормальних умов

Опір та електрична міцність ізоляції тролейбусів.

Для забезпечення електробезпеки тролейбуса високовольтні кола тролейбуса повинні мати не менше двох ступенів ізоляції. Для проводів, що мають два шари ізоляції - ця вимога вважається виконаною.

Опір та електрична міцність ізоляції апаратів, що встановлені на тролейбусі, повинні відповідати вимогам ДСТУ 3601, ДСТУ 2773.

Опір та електрична міцність ізоляції електричних двигунів, що встановлені на тролейбусі, повинні відповідати ГОСТ 2582.

Площа перерізу кабелів та проводів повинна відповідати струмовим навантаженням відповідно до ДСТУ 2773.

Площа перерізу поодиноких низьковольтних проводів повинна бути не менше 1,5 мм². Дозволяється в окремих ланцюгах застосовувати проводи перерізом менше 1,5 мм², але при цьому повинна бути забезпечена міцність проводу, його відповідність струмовим навантаженням і параметрам апаратів захисту.

Електричні кола управління, сигналізації, освітлення тролейбуса повинні живитися від джерела низької напруги у складі акумулятора та пристрою, що його заряджає.

Для високовольтних кіл тролейбуса повинні використовуватися проводи з ізоляцією на напругу не менше 3000 В.

Високовольтні і низьковольтні проводи повинні прокладатися окремо.

Крайки кабельних каналів та інших механічних елементів, до яких торкаються проводи та кабелі, повинні мати закруглення радіусом, не менше 2 мм.

Проводи та кабелі повинні бути надійно закріплені.

Не дозволяється прокладання проводів та кабелів в зоні викиду продуктів дугогасіння комутаційних апаратів.

У електричного обладнання високовольтних кіл відстань між неізольованими частинами повинна бути:

- по поверхні ізолятора не менше 20 мм;
- по повітрю - не менше 12 мм.

Проводи та кабелі, які розміщені на даху тролейбуса, повинні бути захищені від прямих сонячних променів і механічних пошкоджень.

Штанги струмоприймачів повинні бути виготовлені з непровідного матеріалу. Допускається застосування металевих штанг із суцільним ізоляційним покриттям зовнішньої поверхні штанг упродовж, не менше 2,5 м від головки струмоприймача і яке розраховано на номінальну напругу 550 В, стійке до ударів. Головка струмоприймача повинна мати три ступені ізоляції відносно корпуса тролейбуса без урахування ізоляції електричного проводу, прокладеного всередині штанги.

Електрообладнання, встановлене на даху тролейбуса та під його кузовом, яке не захищене оболонками, повинно бути встановлено на брудостійких ізоляторах.

Поверхня даху тролейбуса, призначена для переміщення технічного персоналу під час виконання обслуговування електрообладнання, повинна мати діелектричне покриття.

Електричні елементи обігріву кабіни водія та пасажирського салону, а також кабелі живлення цих елементів повинні бути захищені зовнішніми оболонками за групою IP21 ГОСТ 14254.

Механічні засоби кріплення кабелів до електричних елементів повинні не допускати самороз'єднання в умовах вібрації з параметрами згідно групи умов експлуатації М28 ГОСТ-17516.1.

Сходишки, двері та їх поручні повинні бути ізольовані від корпуса тролейбуса та мати величину опору ізоляції відповідно до експлуатаційної документації на тролейбус.

На панелі приладів кабіни водія повинен бути встановлений сигналізатор високої напруги.

Примітка. Місце розташування сигналізатора високої напруги визначається технічним завданням на розроблювання тролейбуса.

Мотузка для підтягування струмоприймача тролейбуса повинна приєднуватися до нього через ізолятор.

Тролейбус повинен бути обладнаний бортовим засобом контролю електробезпеки тролейбуса. Конструкція бортового засобу контролю безпеки

тролейбуса повинна дозволяти водієві виконувати перевірку його справності і придатності до роботи.

Бортові засоби контролю електробезпеки троллейбуса незалежно від їх технічного стану (справний, несправний) не повинні погіршувати показники електробезпеки троллейбуса.

Тролейбус для перевірки стану опору ізоляції його основних складових вузлів високовольтного кола повинен бути обладнаний діагностичною панеллю, яка розміщена у захищеному від вологи та зручному для виконання вимірювальних робіт місці.

Електричний захист рухомого складу

Для забезпечення вимикання електричних кіл у яких пошкоджена ізоляція вони повинні бути захищені автоматичними вимикачами. Допускається застосування запобіжників.

На підставі наукових досліджень виконаних НДКТІ МГ, для забезпечення електробезпеки троллейбуса можна по додатково зазначити:

- автоматичні вимикачі та запобіжники повинні гарантовано спрацьовувати у разі виникнення коротких замикань.
- високовольтні споживачі повинні підключатися до плюсового полюсу через головний автоматичний вимикач, орган керування яким має бути доступний з робочого місця водія.
- головний автоматичний вимикач повинен відповідати вимогам ДСТУ 2773.
- апарати захисту електричних кіл повинні забезпечувати селективне відключення пошкоджених ділянок.
- при використанні в будь-якому колі лише одного запобіжного пристрою, він повинен бути установленим у провід плюсового полюсу.
- електричне обладнання повинно бути захищеним від атмосферних та комутаційних наднапруг.

Висновок до розділу 1

У першому розділі було проведено детальний аналіз методів та засобів діагностування основних вузлів електричного обладнання троллейбусів.

Дослідження тягових електродвигунів (ТЕД) показало, що у процесі їхньої роботи відбувається деградація параметрів, яка призводить до втрати працездатності, появи небезпечної напруги на корпусі, прискореного зношування елементів та підвищених вібрацій. Основна частина відмов припадає на колекторно-щітковий вузол, ізоляцію обмоток та підшипники. Оскільки зміна більшості параметрів технічного стану ТЕД носить монотонний характер, найдоцільнішим є застосування змішаної стратегії управління їх технічним станом, що базується на результатах контролю параметрів та наробітку.

Аналіз тиристорно-імпульсних систем управління (ТІСУ) виявив, що відмови їхніх елементів носять переважно раптовий характер. Наразі досвід експлуатації не дозволяє виділити параметри, що монотонно змінюються та дають змогу достовірно прогнозувати залишковий ресурс цих елементів. З огляду на це, найбільш ефективною стратегією забезпечення працездатності ТІСУ є виконання нетрудомістких обслуговуючих робіт за наробітком, тоді як будь-які ремонтні роботи повинні проводитися виключно за фактичним станом, визначеним за результатами діагностування блоків.

Окрему увагу приділено питанням ізоляції високовольтних ланцюгів та загальної електробезпеки, адже тролейбус є специфічним транспортним засобом, корпус якого не має заземлення та ізольований від землі гумовими шинами. Погіршення стану ізоляції під впливом експлуатаційних факторів особливо критично проявляється у вологому середовищі, що призводить до різкого зниження її опору та появи небезпечних струмів витоку. Вирішення завдання забезпечення належного рівня електробезпеки вимагає комплексного підходу: вдосконалення конструкції тролейбуса за рахунок використання матеріалів з поліпшеними діелектричними властивостями й додаткових ступенів ізоляції, а також розробки та впровадження ефективних засобів контролю технічного стану відповідного електрообладнання.

РОЗДІЛ 2

2.1 Аналіз відмов струмоприймачів тролейбусів

Струмоприймачі здійснюють електричне з'єднання між контактними дротами й електричним устаткуванням тролейбусів

Недостатнє натискання контактної частини струмоприймача на контактний дріт приводить до порушення контакту й утворення електричної дуги при струмозніманні, викликаючи перевищення температури, оплавлення й руйнування контактного дроту. Надмірне збільшення натискання викликає підвищене зношування контактного дроту й контактної частини струмоприймача, а також може привести до поломки деталей струмоприймача й спецчастин контактної мережі.

При нерухомому тролейбусі взаємодія головки струмоприймача й контактної мережі визначають статичним натисканням головки на контактний дріт $F_{ст}$. Уже при натисканні 30Н забезпечується стійке проходження годинного струму двохосьового тролейбуса (220А) без істотного нагрівання контактних поверхонь.

Однак у процесі руху тролейбуса на характер взаємодії головки струмоприймача й контактної мережі впливають динамічні процеси, викликані коливаннями кузова машини разом з підставами струмоприймачів, коливаннями частин останніх стосовно підстави, а також коливаннями контактної мережі. Причин таких коливань безліч, у тому числі нерівності дорожніх покриттів, що змінюються маса й еластичність контактної мережі, нерівності на елементах останньої. Все це в остаточному підсумку приводить до безперервних змін контактних натискань. Щоб уникнути отскакування контактної частини від контактного дроту контактне натискання повинне бути по можливості постійним.

Сили, що діють на штанговий струмоприймач при русі рухомого складу (рис.1.2) P_1 - сила реакції контактного проведення на контактну частину рівна тиску контактної частини на контактний дріт; G_1 - вага контактної головки струмоприймача; G - вага штанги й штанготримача; $P_2=P_1 \cdot f$ - сила тертя при взаємодії контактної частини й контактного дроту; f – коефіцієнт тертя контактної

частини струмоприймача об контактне проведення; P – сила натягу пружин.

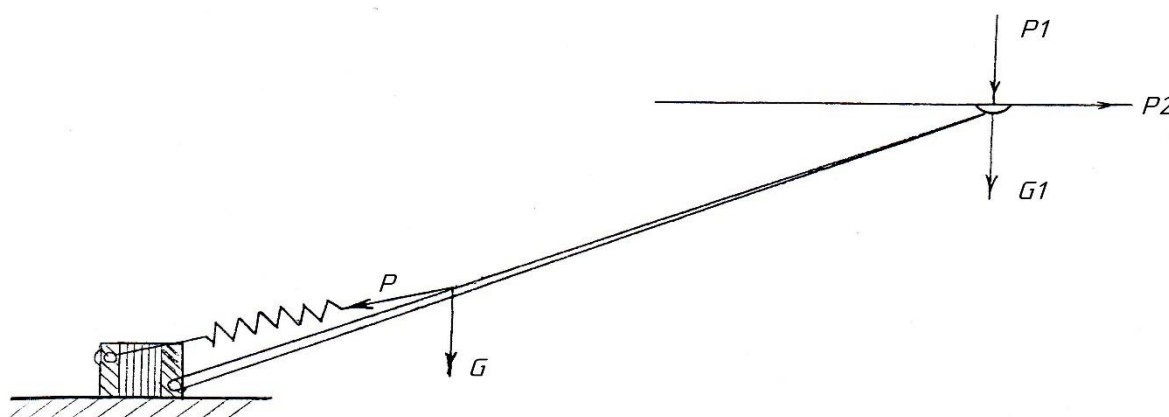


Рис.2.1 Сили, що діють на штанговий струмоприймач

При більших швидкостях руху рухомого складу різко змінюється висота струмоприймача й виникають значні інерційні сили, що істотно впливають на контактне натискання. Воно змінюється від нуля до небезпечного значення, що може викликати руйнування струмоприймача й контактної мережі. У випадку зникнення контактного натискання порушується контакт і виникає електрична дуга, іскріння, струмоприймач може зійти з контактного дроту. Для одержання надійного струмознімання при більших швидкостях руху необхідно забезпечити найменшу зміну контактного натискання в порівнянні з номінальним значенням.

У процесі руху тролейбуса зміна контактного натискання через динамічну взаємодію системи струмоприймач - мережа сполучається з одночасною зміною статичного натискання, що залежить від висоти контактного дроту над дорожнім покриттям.

На рис. 2.2 наведені осцилограми контактних натискань головки струмоприймача тролейбуса Тр-14 при нерухомому тролейбусі й двох режимах руху. Осцилограми зняті при статичному натисканні 100 Н; осі контактної мережі й підстави струмоприймачів перебували в одній вертикальній площині.

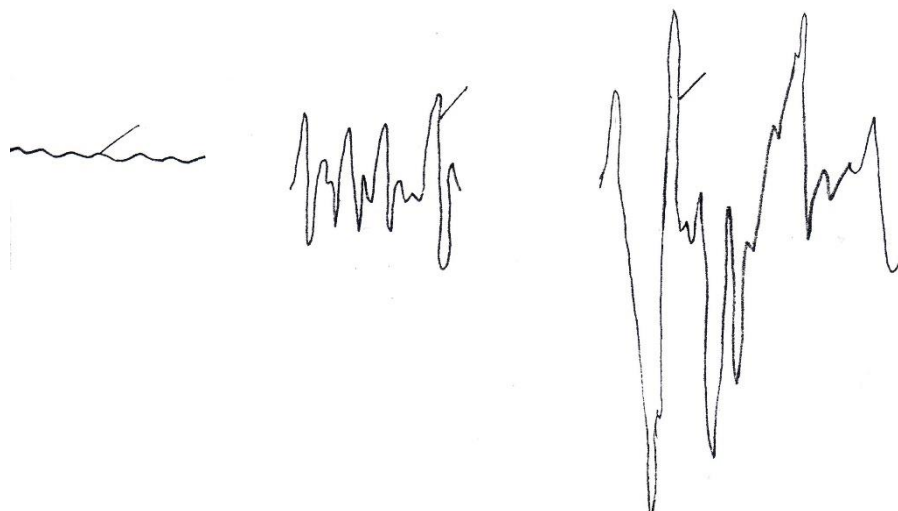


Рис.2.2 Осцилограми контактних натискань головки струмоприймача

Як видно з осцилограм, миттєве значення контактного натискання f_m істотно відрізняється від статичного. В окремі моменти f_m знижується до значення, близького до нульового. При цьому виникає нестійкість головки стосовно контактного дроту, і незначний бічний вплив викликає схід головки струмоприймача з контактної мережі.

Бічний вплив на головку струмоприймача виникає через горизонтальні коливання системи контактний дріт - струмоприймач навіть у випадку розташування осей мережі й струмоприймачів в одній вертикальній площині. Бічний вплив зростає в міру відхилення осі струмоприймачів від осі мережі, що має місце при поперечному маневруванні тролейбуса на проїзній частині, зміни розташування контактної мережі в плані дороги, при поворотах і т.д. У цих випадках бічний вплив має постійну складову, що залежить від ступеня відхилення, і змінними, викликаними горизонтальними коливаннями.

При тому самому технічному стані головки струмоприймача схід останнього може відбутися під впливом бічної сили тим з більшою ймовірністю, чим менше контактне натискання f_m . у свою чергу, ймовірність зниження миттєвого значення контактного натискання до заданого буде тим менше, чим більше статичне натискання $f_{ст}$.

Однак збільшення $f_{ст}$ приводить до росту зношування токозйомних елементів. Установлено, що як механічний, та й електричний зноси вугільних

контактів W_y (при відносній вологості повітря близько 50%, см^3) у функції натискання в контакт f можна

$$W_y = l_c F(W_m + W\sqrt{I/10}) \quad (2.1)$$

Де l_c - шлях ковзання км;

I - сила струму, А;

W - емпіричні коефіцієнти, що визначають відповідно механічне й електричне зношування.

Відповідно до наведеного рівняння збільшення контактного натискання викликає пропорційне збільшення зношування вугільних контактних вставок. Ростає також зношування контактного дроту.

Таким чином, з урахуванням динаміки взаємодії струмоприймачі й мережі вимоги до значення контактного натискання суперечливі: для забезпечення стійкого струмознімання без сходу струмоприймачів із дроту воно повинне бути якнайбільше, а за умовами мінімального зношування контактуючих матеріалів - по можливості меншим (але не нижче значення, що забезпечує стійке проходження струму).

Удосконалюванням всієї системи струмознімання, у тому числі поліпшенням технічного стану струмоприймачів, можна істотно підвищити стійкість струмознімання, звести до мінімуму число сходів струмоприймачів з контактних проводів.

У даній кваліфікаційній роботі пропонується використання контактних вставок які мають більшу зносостійкість і, відповідно, не потребуючих частих замін. У наступному розділі більш докладно розкривається питання про зносостійкість контактних вставок.

1) Технічні вимоги до штанг, головам струмоприймача і контактним вставкам головки струмоприймача

Контактна вставка ковзного типу є досить відповідальною деталлю, що здійснює струмознімання з контактного дроту. Вона впливає на безперебійність експлуатації тролейбуса.

Струмознімання тролейбуса, а отже, і робота ковзного контакту відбуваються в складних умовах, які характеризуються наступними

особливостями. Рівень підвіски контактних дротів коливається 4-6м, отже, неминучі значні коливання тиску контакту на дріт. Коливання величини контактного натискання підсилюються при наїзді тролейбуса на виступи й западини, на дорозі, що викликає різкі коливання кузова, а також при прискоренні й з машини істотні зміни контактного тиску викликають власні коливання штанги струмоприймача.

Ковзний контакт піддається також ударному навантаженню, що досягає 20% від статичної, котра виникає в момент проходження струмоприймачем твердих крапок підвісу й спец частин.

При ковзанні контакту по проведенню струмознімання здійснюється не всією робочою поверхнею контактної вставки, а лише невеликою її частиною. У результаті цього контактна вставка зношується не рівномірно з викриваннями й відколами матеріалу вставки.

Значна зміна сили натискання контакту, а також більша нерівномірність і не повноцінність площі зіткнення контактної вставки з контактним дротом викликають різкі коливання питомого тиску, що для вставок довжиною 60мм буде $0,15 - 0,8 \text{ МН} / \text{м}^2$ ($1,5-8 \text{ кгс} / \text{см}^2$) і для вставок довгої 80мм – $0,1 - 0,5 \text{ МН} / \text{м}^2$ ($1,0-5 \text{ кгс} / \text{з} \text{ м}^2$), у той час як питоме натискання, що рекомендує, контактних щіток електричних машин не перевищує $0,1 \text{ МН} / \text{м}^2$ ($1 \text{ кгс} / \text{м}^2$).

Значне зниження площі контакту (зіткнення контактної вставки з контактним дротом) приводить до збільшення щільності струму в ковзному контакті сягаючої в особливо важких випадках $150 \text{ А} / \text{см}^2$, а при найбільш тривалих і часто повторюваних режимах $10-100 \text{ А} / \text{дсм}^2$, що в багато разів перевищує рекомендує величину, що, значні зміни контактного тиску, високі щільності, а також більші й різкі коливання струму, що знімає, викликають іскріння між ковзним контактом і контактним дротом.

Поява вологи на поверхнях контактного дроту й вставки робить на них руйнуючу дію. Утворення на дроті паморозі й ожеледі також погіршать контакт і умови струмознімання викликаючи іскріння й підвищене зношування контактних вставок. Радий інших несприятливих умов (забруднення контактних поверхонь вуличним пилом, не рівності й задирки на проводах і особливо спецчастинах і ін.)

у ще більшій мері погіршують умови струмознімання.

Складність умов роботи контактних вставок приводить до підвищеного зношування їх і у зв'язку із цим до частоті зміни в процесі експлуатації.

Сказане спричиняється високі вимоги, пропоновані до контактних вставок ковзного типу. Основні з них наступні:

- висока зносостійкість при несприятливих умовах роботи: здатність, що змазує, матеріалу вставки;
- мінімальне зношування контактного дроту;
- висока механічна міцність;
- мінімальна залежність умов струмознімання й зношування вставки й дроту від атмосферних умов:
- термічна стійкість матеріалу вставки;
- максимальний опір іскроутворенню й виникненню дуги;
- мінімальний коефіцієнт тертя при ковзанні вставки по контактному дроту;
- можливість високих швидкостей ковзання (до 18 м/с) без іскріння при існуючій силі натискання на контактну вставку;
- недефіцитність матеріалу, використовуваного для виготовлення вставок.

У цей час тролейбусними підприємствами застосовуються головним чином вугільно-графітові контактні вставки. У деяких випадках використовують також металеві й у ще більш рідких випадках, у порядку експерименту, металеві самозмащувальні й металокерамічні контактні вставки.

Широке поширення вугільно-графітових контактних вставок свідчить про те, що вони задовольняють ряду вимог, що забезпечують їхню надійну експлуатацію (змащувальна здатність матеріалу вставки, мінімальне зношування контактного дроту, високе опір іскроутворенню, термічна стійкість, незначний коефіцієнт тертя, можливість високих швидкостей, без іскріння, недефіцитність матеріалу й ін.).

У цей час відомі два способи виготовлення вугільно-графітових вставок, методом гарячого сухого пресування й методом пресування з наступним тривалим випалом при високій температурі.

Для виготовлення контактних вставок методом гарячого пресування

використають наступні матеріали: електрографітований кокс (84,74%), новолакова смола (13,62%) і технічний уротропін (1,64%). Спеціально приготовлений із цих матеріалів порошок пресується в прес-формі, нагрітої до 160-170⁰С, при питомому тиску 35МН/м² (350кгс/см²) з витримкою часу 5 хв. У результаті пресування виходять контактні вставки, які потім полімеризуються при температурі 160-180 ⁰С протягом 30хв.

Виготовлені яким образом вставки забезпечують пробіг 600-1500 км (у найбільш сприятливих умовах).

Для виробництва контактних вставок методом пресування з наступним тривалим випалом при високій температурі застосовують головним чином порошки коксу, сажі, графіту й спеціальних добавок (смола, пік і ін.). різне співвідношення складових підсилює або послабляє окремі властивості контактних вставок (твердість, питомий опір, механічну міцність, крихкість, коефіцієнт тертя й ін.).

Відомий вплив на властивості вставок роблять тривалість перемішування, температурний режим і наступна після пресування термічна обробка.

Значний вплив на властивості вугільно-графітових вставок робить розмір часток матеріалів, з яких виготовляють вставки. Чим вище ступінь здрібнювання (помолу) часток матеріалу, тим вище зносостійкість вугільно-графітових вставок. Представляються досить доцільними виготовлення й випробування досвідчених зразків вставок і понад тонке млино вугільно-графітової фракції. Основною перешкодою в добутку цього експерименту є створення відповідної прес-форми, конструкція якої виключала б можливість витоку матеріалу, який пресується. Однак можливість одержання контактних вставок з високою зносостійкістю цілком виправдує зусилля й витрати по створенню більше зроблених конструкцій прес-форм.

Для зменшення коефіцієнта тертя й гігроскопічності контактні вставки просочують речовиною, що змазує. Значне поширення одержав парафін як смазуючий матеріал, що вводиться у пори вугільно-графітових елементів. Процес просочення парафіном, розчиненим у гасі, триває в герметично, що закривається посудині, у плинні 2-3 год. При температурі близько 120⁰С. Після просочення для

видалення розчинника вставки сушать протягом 10 год. при температурі $=100^{\circ}\text{C}$

Також на зносостійкість контактних вставок впливають їхня конструктивна форма. І в значній мірі конструкція головки струмоприймача.

2) Експериментальне дослідження зношування контактних вставок з різних металів

А. Металеві контактні вставки

Металеві вставки застосовуються тільки окремими тролейбусними господарствами.

Обмеженість застосування контактних вставок пояснюється необхідністю систематичного змащення проводів для запобігання їхнього швидкого зношування.

Можуть застосовуються вставки: чавунні, сталеві, алюмінієві (сплав), алюмінієві разом з різними матеріалами, що змазують.

Середній термін служби чавунних вставок близько 2000 км при змазаному графітом проведенні. Частіше, ніж чавунні, тролейбусними господарствами застосовувалися сталеві контактні вставки.

У процесі спостережень за роботою сталевих контактних вставок по незмазанім дротам виявлено, що на полірованій контактній поверхні вставок уже після 15-20 км пробігу з'являються сліди від електричних дуг у вигляді крапок із твердими утвореннями, що залишають ризики на дроті, а на головці струмоприймача з'являється рясний мідний пил - продукт зношування контактного дроту. Зі збільшенням пробігу ці явища прогресують. При нанесенні на контактний дріт змащення зношування сталевих вставок і дроту різко знижується.

При спостереженні за роботою контактних вставок з дюралюміна під час дощу було встановлено, що вони інтенсивно окисляються, і по струмоприймачах стікає рідина бурих кольорів (суміш води з окисом дюралюміна й залишками графітового змащення), що забруднює кузов тролейбуса.

Експлуатація контактних вставок з дюралюміна не бажано також і в наслідок їхнього великого зношування, для зменшення якого потрібна періодичне

змащення контактного дроту.

Крім дюралюміна, експлуатаційним випробуванням був підданий сплав алюмінію, що містить порівняно великий відсоток Cu і Si, що володіє гарною механічною міцністю й здатністю поліруватися. У результаті проведених спостережень зроблений вивід, що експлуатація вставок зі сплаву Al-Cu-Si можливо лише при періодичному змащенні контактного дроту.

Вставки зі сплаву Al-Cu-Si більше зносостійкі, чим дюралюмінієві. При мокрому контакті зношування вставки збільшується приблизно в бразів.

Внаслідок небажаності застосовувати в умовах експлуатації змащення контактних дротів були випробувані (самозмащувальні) контактні вставки різної конструкції. Випробовувалися вставки які складаються з алюмінію (у всіх випадках сплаву) - стали, мідно-графітового матеріалу, що змазує, алюміній-графітової пасти алюміній-графітових стрижнів алюміній-свинцевих стрижнів.

Було встановлено, що всі (самозмащувальні) контактні вставки не придатні для експлуатації, тому що шар, що змазує, який залишається на контактному дроті, не достатній для запобігання від зношування проведення й вставки. Може становити інтерес лише алюмінієва контактна вставка зі свинцевими стрижнями для експлуатації під час випадання дощу й мокрого снігу. У цих умовах задира контактного дроту не відбувається.

Як загальний вивід із всіх випробувань, виявлено, що жоден з випробуваних зразків металевих контактних вставок не дає цілком задовільних результатів.

Металокерамічні контактні вставки

Випробуванням були піддані металокерамічні контактні вставки, до складу яких входять найбільш доступні для масового застосування матеріали:

1. Залізо й графіт.
2. Залізо, мідь і графіт.
3. Мідь і графіт
4. Мідь, свинець і графіт.
5. Алюміній і графіт.

Як відомо, властивості металокерамічних матеріалів більшою мірою залежать від їхньої пористості, крупності порошку, структури, технології

виготовлення й хімічного складу.

Установлено, що механічні властивості металокерамічних матеріалів при зменшенні пористості підвищуються. Так, при зменшенні пористості на 1% механічні властивості підвищуються на 3-10%. При виборі пористості треба, однак, мати на увазі, що для контактної вставки бажано мати більшу пористість для меншого зношування дроту.

Металокерамічні матеріали, виготовлені з тонких порошків, мають більше високі механічні властивості, чим матеріали, виготовлені із грубих порошків, що видно з таблиці 2.1

Таблиця 2.1- Механічні властивості металокерамічних матеріалів

Розмір часток порошку заліза, у мм	Межа міцності при розтяганні, в %	Межа текучості, в %	Твердість по Бринелю в %	Подовження в %
До 0,075	100	100	100	100
Від 0,075 до 0,1	93	85	82	106
Від 0,1 до 0,5	58	60	78	50

Ці фактори, що впливають на якість металокерамічних контактних вставок, ураховувалися при виготовленні дослідних зразків.

Випробування контактних вставок, виготовлених з пористого заліза й міді, залізного порошку й графіту, порошку й заліза, міді й графіту, показали повну непридатність цих матеріалів у наслідок неприпустимих зносів контактного дроту.

Контактні вставки, що складаються з порошків міді й графіту виявилися непридатними в наслідку більшого питомого зношування цих матеріалів. Кращі результати показали контактні вставки, що складаються з алюмінію й графіту.

За отриманим даними можна зробити наступні висновки:

1. Введення графіту в структуру металокерамічних вставок різко знижує зношування контактного дроту завдяки змащувачим властивостям, графіту. Так, наприклад, якщо контактні вставки з пористого заліза зношували контактне дріт на 0,042 мм на 10 тис. проходів струмоприймача, то із введенням у структуру 2%

графіту зношування дроту знизилося до 0,0086 мм/10 тис. проходів струмоприймачів.

2. Зі зменшенням пористості вставки питоме зношування її зменшується, але разом із цим збільшується питоме зношування контактного дроту.

3. На питоме зношування всіх випробуваних металокерамічних вставок впливає вологість контактних поверхонь. При вологому контакті зношування вставки (і дроту) різко збільшується.

4. Кращим результатом по величині зношування вставки й контактного дроту має алюмінієво-графітова вставка (Al-96,5%,Cu-3,5). Вартість по експлуатації також найменша.

5. У результаті ряду досліджень встановлено залежності зношування вугільних контактних вставок від вологості, температури, контактного тиску, іскріння, величини напруги й струму, що дозволяють виробити основні вимоги матеріалу контактних вставок.

Недоліком вугільних контактних вставок є зменшення їхньої зносостійкості при вологому контакті. Просочення вставок матеріалами, що змазують (маслами, парафіном, смолами й ін.) збільшує вологостійкість вугільних вставок, але не в достатній мірі.

У даній кваліфікаційній роботі рекомендується використати контактні вставки з композиційного матеріалу на основі алюмінієвих сплавів з дисперсними частками графіту кількість графіту в матеріалі вставки повинне бути від 50 до 60%.

Як алюмінієві сплави повинні застосовуватися сплави наступних марок Д12, Д16, Д16П, Д18, АЛ2, АЛ9, АЛ25, АЛ-1, АЛ-6, АК5М2, АК7М2, АА-7, АК5М7.

Дані контактні вставки відповідають наступним технічним вимогам:

1. Максимальна стала швидкість тролейбуса при повній масі на горизонтальній ділянці дороги при номінальній напрузі - не більше 60км/ч.

2. Напруга на струмоприймачі тролейбуса, по п.2. ГОСТ 6962-75:

Мінімальне – 400В;

Номінальне – 500В;

Максимальне – 720В.

3. При русі тролейбуса вставка струмоприймача повинна стійко взаємодіяти з наступними підвісними арматурами контактної мережі:

- секційні ізолятори;
- криві тримачі;
- керовані видаткові стрілки;
- подібні стрілки;
- перетинання із тролейбусною лінією;
- перетинання із трамвайною лінією.

4. Вставка повинна взаємодіяти з контактним дротом перетином 85мм^2 /марки МФ-85/.

5. Тиск струмоприймача на контактний дріт 12-14кгс.

6. Вставки допускають струмові навантаження до 800А.

7. Температура навколишнього середовища при експлуатації вставки /п.3.2. ГОСТ 15150-69/:

- верхні робітники значення $+4^{\circ}\text{C}$;
- нижнє робоче значення -4°C .

8. Робітники значення відносної вологості повітря при експл. /п.3.6. ГОСТ 15150-69/:

- нижнє значення 60%;
- верхнє значення 100%;
- середньорічне значення - 80% при температурі $+15^{\circ}\text{C}$

9. В експлуатації контактний дріт й вставка піддаються впливу атмосферних опадів, що випадають: дощ, сніг, град, сніжна крупа, а так само атмосферних конденсованих опадів: роса, іній, паморозь.

10. Верхнє значення інтенсивності дощу становить 3мм/хв.

11. Питомий електричний опір вставки визначається за ГОСТ 28776-79 і повинне бути не більше $0,4 \cdot 10^{-2}$ Ом. мм.

12. Пористість вставки повинна бути не більше 0,5%.

Висновок до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи було проведено детальний аналіз

відмов струмоприймачів тролейбусів та умов їхньої роботи. Дослідження показало, що надійність струмознімання критично залежить від стабільності контактного натискання головки струмоприймача на контактний дріт. Під час руху тролейбуса виникають значні динамічні коливання цього натискання, які можуть призводити до відриву контактної частини, виникнення електричної дуги, іскріння та, як наслідок, прискореного зношування або руйнування елементів контактної мережі й самого струмоприймача.

Аналіз матеріалів контактних вставок виявив, що широко використовувані вугільно-графітові вставки мають суттєвий недолік — зменшення зносостійкості при вологому контакті. Водночас експериментальні випробування різних металевих (чавунних, сталевих, дюралюмінієвих) та більшості металокерамічних вставок також не дали задовільних результатів. Їх використання призводить або до неприпустимого зношування контактного дроту, або вимагає його систематичного змащування.

Для вирішення цієї проблеми та підвищення довговічності вузла запропоновано використовувати контактні вставки з композиційного матеріалу на основі алюмінієвих сплавів (наприклад, марок Д12, Д16, АЛ2 тощо) із дисперсними частками графіту в кількості від 50 до 60%. Введення графіту до структури матеріалу різко знижує зношування контактного дроту завдяки його змащувальним властивостям. Запропоновані композиційні вставки здатні витримувати струмові навантаження до 800 А та забезпечувати стійку взаємодію зі спецчастинами контактної мережі при швидкостях руху тролейбуса до 60 км/год. Крім того, вони розраховані на надійну експлуатацію в умовах впливу атмосферних опадів при регламентованих робочих значеннях температур та вологості повітря.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРОЛЕЙБУСІВ

3.1 Розробка тролейбуса

Правильність технічних рішень прийнятих при розробці тролейбуса, як правило, перевіряється на етапі попередніх, і приймальних випробувань. В процесі проведення випробувань контролюється:

- властивості ізоляційних матеріалів і застосованих ізоляторів витримувати підвищені напруги;
- відсутність пошкоджень ізоляції і ізоляторів в процесі виконання складальних робіт;
- властивості ізоляційних матеріалів і ізоляторів зберігати свої характеристики під впливом несприятливих метеорологічних чинників.

Оцінка властивостей застосованих ізоляційних матеріалів і ізоляції, як правило, проводиться вимірюванням опору ізоляції між:

- корпусом тролейбуса і високовольтним ланцюгом тролейбуса;
- корпусом високовольтної машини або апарату, що знаходиться на даху або під кузовом тролейбуса і корпусом тролейбуса;

Оцінка відсутності пошкоджень ізоляційних матеріалів, ізоляторів і їх здатність витримувати підвищені напруга, як правило, перевіряється шляхом випробувань ізоляції напругою 3200В.

Оцінка здатності ізоляції і ізоляторів витримувати дію несприятливих метеорологічних перевіряється шляхом вимірювання опору ізоляції після дії на тролейбуса підвищеної вологості (100%) і облива його водою в процесі випробувань на вологонепроникність тролейбуса..

Імітація дії на тролейбус підвищеної вологості вимагає наявності спеціальної кліматичної камери дуже великого розміру, що дозволяє встановити в неї тролейбус.

У зв'язку з відсутністю такої камери перевірка стійкості ізоляції до дії підвищеної вологості проводиться в процесі експлуатаційних випробувань, шляхом виміру загального опору ізоляції після або під час роботи

тролейбуса під дощем і контролю струму витоку перед виїздом тролейбуса на маршрут. Особливо ефективна оцінка властивостей ізоляції і ізоляторів методом експлуатаційних випробувань якщо вони проводяться в осінній, зимовий і весняний періоди року, є найскладнішими для експлуатації рухомого складу міського електротранспорту.

Рекомендації НІКТИ МГ по організації контролю параметрів електробезпеки тролейбуса на етапі розробки приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Контроль електробезпеки на етапі розробки.

Стан тролейбуса	Задача контролю	Контрольований параметр	Граничне значення параметра
Попередні випробування виключаючи експлуатаційні, а також приймальні, кваліфікаційних сертифікаційні	Визначення властивостей застосованих ізоляційних матеріалів і ізоляції	Опір ізоляції за нормальних умов	Не менше 20мОм
	Визначення якості збірки електроустаткування	Міцність ізоляції	Відсутність пробою ізоляції при напрузі 3200В
Експлуатаційні випробування і сертифікаційні	Визначення властивостей ізоляційних матеріалів	Опір ізоляції при підвищеній вологості	Не менше 1мОм.

3.2 Експлуатація тролейбуса

Існуюча організація контролю електробезпеки тролейбуса на етапі експлуатації, передбачає вимірювання струму витоку при знаходженні тролейбуса в наступних станах:

- заїзд в депо після закінчення зміни;
- знаходження на технічному обслуговуванні або ремонті;
- виїзд з депо;
- знаходження на кінцевій станції маршруту.

Як правило, при заїзді в депо струм витоку вимірюється переносними або

стаціонарними пристроями без реєстрації напруги в контактній мережі.

Відбраковка тролейбусів проводиться за наявності струму витоку більше 3мА.

При проходженні технічного обслуговування або ремонту також вимірюється струм витоку і при його перевищенні значення 3 мА проводиться вимірювання опору ізоляції, з метою пошуку ділянки ланцюга з пошкодженою ізоляцією.

Як на виїзді тролейбуса з депо, так і на кінцевій станції маршруту контролюється тільки струм витоку. При реєстрації струму витоку зверху 3мА при виїзді, тролейбус відставляється в депо, якщо перевищення допустимого значення знайдено на маршруті, то тролейбус прямує в депо.

Недоліком існуючої організації контролю, є те що контроль електробезпеки при заїзді тролейбуса в депо або при його ремонту, виконується по гранично допустимому значенню, а не допустимому значенню яке враховує можливе збільшення струму витоку, за рахунок наявності в контактній мережі підвищеної напруги або погіршення метеорологічних умов.

Заходи щодо вдосконалення організації контролю електробезпеки тролейбуса повинні відповідати задачам, які розв'язуються при виконанні операцій контролю. Рекомендації НІКТИ МГ за рішенням задач організації контролю електробезпеки тролейбуса приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Контроль електробезпеки на етапі експлуатації

Стан тролейбуса	Задача контролю	Контрольований параметр	Граничне значення параметра
Заїзд тролейбуса в депо, з подальшою установкою на відстійний майданчик	Визначення необхідності виконання робіт по відновленню властивостей ізоляції і ізоляторів тролейбуса	Струм витоку	Рис.2.3,2.4.
Знаходження тролейбуса на Щоденному обслуговуванні	Визначення необхідності виконання робіт по відновленню властивостей ізоляції і ізоляторів тролейбуса	Струм витоку	Рис.2.3,2.4.

Знаходження тролейбуса на ТЕ-1	Визначення необхідності виконання робіт по відновленню властивостей ізоляції і ізоляторів тролейбуса	Струм витоку	Рис.2.3,2.4.
Знаходження тролейбуса на ТЕ-2	Визначення властивостей ізоляції і ізоляторів	Опір ізоляції	Не менше 20мОм
Знаходження тролейбуса на СР	Визначення можливих пошкоджень ізоляції в процесі монтажу електроустаткування	Міцність ізоляції Опір ізоляції	Відсутність пробою ізоляції при напрузі 3200В Опір ізоляції не менше 20 мОм
Знаходження на ковтальному ремонті	Визначення можливих пошкоджень ізоляції в процесі монтажу електроустаткування	Міцність ізоляції Опір ізоляції	Відсутність пробою ізоляції при напрузі 3200В Опір ізоляції не менше 20 мОм

Не дивлячись на те, що контроль струму витоку на кінцевих пунктах вирішує задачу відбраковки тролейбусів з пошкодженою ізоляцією цей контроль не дозволяє повністю забезпечити пасажирів, оскільки повне рішення цієї задачі можливо лише при безперервному контролі в процесі руху тролейбуса на маршруті

В експлуатаційних умовах ідеальної необхідно рахувати стратегію управління електробезпекою тролейбуса, включаючи три етапи:

- перший - контроль струму витоку по допустимому значенню при заїзді тролейбуса в депо, а також при проходженні ЩО, ТО-1, і з подальшим поглибленим, поелементним контролем опору ізоляції зовнішніми контрольний - діагностичними пристроями;
- другий - контроль опору ізоляції при проходженні тролейбусом ТО-2, СР і КР., а також міцності ізоляції після виконання робіт по установки електричного устаткування на СР і КР зовнішніми контрольно-діагностичними пристроями;
- третій - безперервний контроль струмів витоку високонадійним вбудованим контрольним пристроєм по гранично допустимому значенню

струму витоку.

3.3 Система технічного обслуговування і ремонту тролейбусів з використанням діагностичної інформації

Система керування технічним станом тролейбусів складається з програми й організації процесів ТО і ремонтів.

Програма ТО і ремонту включає типову структуру (види, обсяги, періодичність і ін.) контрольно-діагностичних і ремонтно-обслуговуючих робіт. На ГЕТ програму ТО і ремонту прийнято називати системою ТО і Р.

Організація процесів ТО і ремонтів представляє організаційно-технологічну і матеріально-технічну бази для реалізації системи ТО і ремонтів: вибір часу доби для проведення технічних впливів; організаційну структуру підрозділів технічної служби депо; організаційні і технологічні прийоми проведення діагностичних і відбудовних робіт; матеріально-технічну базу - структуру виробничих площ, діагностичного і технологічного устаткування, систему матеріально-технічного забезпечення й ін.

Розробка системи ТО і Ремонтів - основний момент у побудові системи керування технічним станом тролейбусів. Варіюючи термінами й обсягами впливів, значеннями параметрів, що допускаються, можна досягнути різних результатів.

Системою ТО і Ремонту визначається в значній мірі надійність роботи тролейбусів на лінії, рівень витрат матеріальних і трудових ресурсів на забезпечення працездатності машин, вимог до матеріально-технічної бази депо.

У тролейбусних депо України прийнята наступна періодичність ТОіР:

Щоденне обслуговування	1 раз на добу
ТО-1	1 раз на 7 діб
ТО-2	Через 16 тис. км
Середній ремонт	Через 80 тис. км
Капітальний ремонт	Через 240 тис. км

Удосконалювати системи ТО і Р слід шляхом збільшення питомої ваги відбудовних робіт, виконуваних по стану, комбінацією двох методів: індивідуального визначення обсягів відбудовних робіт на кожному видів ТО і Р і по кожному агрегату агрегаті, блоку з обліком його фактичного технічного стану і призначення періодичності постановки на ремонт конкретного тролейбуса з обліком його фактичного технічного стану.

Аналіз надійності роботи тролейбусів різних типів і в різних містах країни показує, що єдина система ТО і Ремонтів з єдиною періодичністю й обсягами робіт для тролейбусів усіх типів не буде оптимальною. Крім того, навіть при експлуатації тролейбусів того самого типу, але в різних умовах оптимальні пробіги до відбудовних операцій можуть бути різними.

Найбільш істотними факторами, що визначають місцеві умови, є якість виконуваних капітальних ремонтів тролейбусів і їхніх агрегатів, середній вік тролейбусів, рівень матеріально-технічного забезпечення, навантаження на рухомий склад, рельєф міста й ін.

Основою ТО і Ремонт системи з використанням діагностики є попереджувальний характер ремонтно-обслуговуючих впливів з використанням на всіх рівнях діагностичної інформації.

Істотною особливістю системи є варіювання періодичності постановки машин у ремонті з обліком фактичного технічного стану їхніх агрегатів, блоків і кузова, а також обсягами робіт по результатам діагностування.

Упровадження системи ТО і Ремонту з використанням діагностичної інформації дозволяє уникнути передчасних ремонтно-обслуговуючих впливів по одним і здійснити своєчасне відновлення параметрів на інших машинах, що об'єктивно потребують цього.

3.4 Технічні пропозиції по конструкції уніфікованих засобів контролю

1) Мобільний засіб контролю

На підставі отриманого досвіду експлуатації індикатора УКІ ЗП можна запропонувати прилад у якому :

- застосовано стандартний вимірювальний прилад – міліамперметр 0-5мА:

- захист приладу виконаний на пасивному елементі - діоді;
- мається сигналізація про наявність контакту з корпусом тролейбуса.

Даний прилад призначений для виміру струму витоку тролейбусів при проведенні контрольно-профілактичних оглядів і ремонтів, а також контролю на кінцевих пунктах маршрутів.

Прилад живиться від батарейок або акумулятора. Прилад оснащений штирем, що заземлює, і диском з ємністю місткістю 1 л із сольовим розчином.

Штир, що заземлює, може використовуватися на ділянках маршрутів, де на відстані не більш 2-х метрів мається земляне покриття (клумба, газон).

Диск, що заземлює, використовується на ділянках дороги де поблизу відсутнє земляне покриття, у цьому випадку диск укладається на асфальтобетонне покриття землю й обливається сольовим розчином.

Прилад має наступні характеристики:

- Номінальна напруга убудованого джерела харчування - 9В
- Максимальний вимірюваний струм - 5мА
- Погрішність виміру, не більш - (1.5%
- Струм при якому починає подаватися звуковий і світловий сигнали 3-2мА
- Максимальна напруга постійного струму між вимірювальними контактами і контуром, що заземлює - 900В
- Довжина кабелю, що заземлює -2м
- Габарити - 245х210х70мм
- Вага- 1.1 кг
- Діапазон, робочих температур, °С - +45 ... -40
- Режим роботи, повторно-короткочасний.
- Гарантійний термін експлуатації пристрою не менш 24 місяців із дня введення в експлуатацію.

- підвищена надійність;

- пристрій має убудований захист від перевантажень по струму і напрузі.

пристрій забезпечує вимір струму витоку при наявності надійного контакту з корпусом тролейбуса. Для цієї мети служать два вимірювальних контакти. При

наявності контакту з корпусом тролейбуса загоряється зелений світлодіод., що сигналізує про готовність пристрою до виміру.

2) Бортовий засіб контролю

Бортовий індикатор призначений для контролю перевищення струму витоку тролейбуса в процесі експлуатації. Пристрій може бути використаний для модернізації існуючих і при створенні нових типів тролейбусів. Особливістю даного пристрою є те, що він повинен легко підключатися до тролейбусів до існуючої сигналізації про наявність струму витоку (наприклад тролейбуси 14ТР, 14ТРМ, К 12.03 які мають на пульті водія таку сигналізацію) , так і до тролейбусів без такої сигналізації.

У зв'язку з цим блок повинний бути виконаний в окремому корпусі до якого можливо підключити як наявну сигналізацію так й окремий пульт . сигналізації.

Корпус такого блоку показаний на рисунку 3.1., а блок схема пристрою на рисунку 3.2.

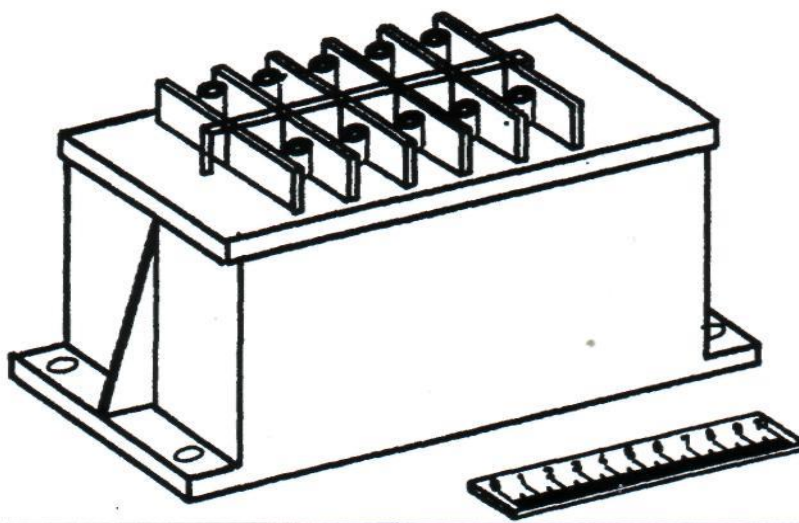


Рисунок 3.1 - Корпус бортового пристрою.

Бортовий індикатор струму витоку містить блок індикатора БІ 1 і два заземляючих струмознімача.

Блок індикатора БІ-1 підключається до металевого корпусу тролейбуса і до двох струмознімачів. Струм витоку контролюється вузлом виміру і захисту (УІЗ). Граничний пристрій (ПУ) видає сигнали у виді „н.р" контактів реле на включення звукової і світлової сигналізації про перевищення струму витоку більш 3 мА.

Крім того, пристрій формує сигнал, що свідчить про надійний контакт із землею, а, отже, про вірогідність виміру струму витоку.

Мається можливість контролю працездатності блоку за допомогою зовнішньої кнопки, а також можливість підключення зовнішнього міліамперметра.

Блок має наступні технічні характеристики:

- напруги харчування 18... 30 В;
- максимальна напруга між корпусом і землею до 1000В;
- режим роботи - тривалий
- габаритні розміри 200x70x115мм;
- маса - 1 кг

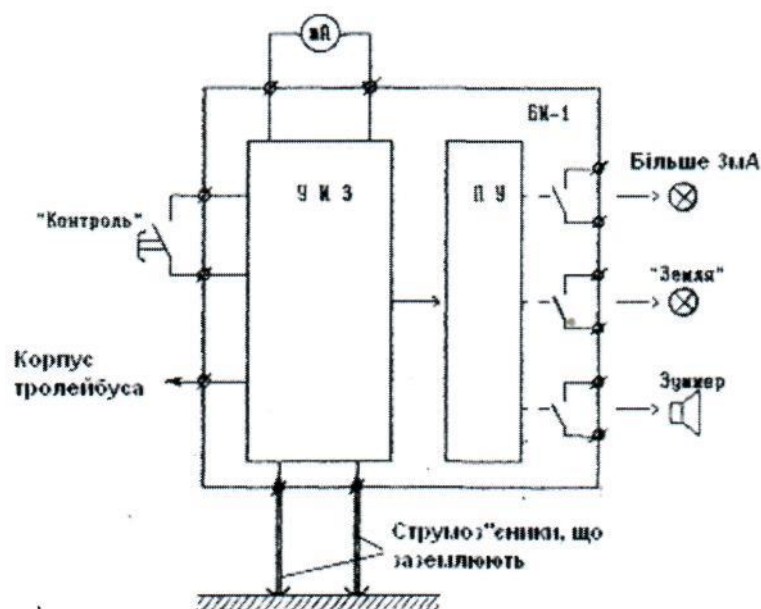


Рисунок 3.2 Блок схема бортового пристрою

Відмінною рисою даного бортового пристрою є:

- постійна і повсюдна дія;
- незалежність від системи харчування тролейбуса;
- пристрій не створює якої-небудь додаткової небезпеки для пасажирів» має убудований захист від перевантажень по струму і напрузі;
- може використовуватися звукова і світлова сигналізація, стрілочний міліамперметр;
- контроль працездатності за допомогою зовнішньої кнопки;
- налагодження і настроювання на тролейбусі не потрібно.

Бортовий пристрій комплектується додатковим пультом сигналізації про наявність струму витоку, у випадку . якщо тролейбус не має сигналізації про перевищення струму витоку . вище припустимої межі. Загальний вид пристрою показаний на рисунку 3.3.

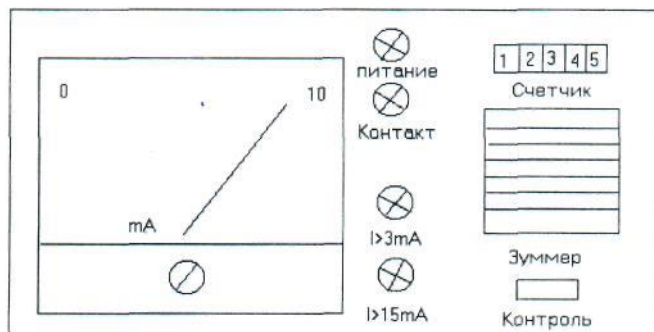


Рисунок 3.3 Загальний вид панелі сигналізації

3) Стационарный засіб контролю

Наявність універсального вимірювального пристрою дозволяє модернізувати стаціонарний засіб контролю струму витоку, про що вказувалося в технологічній частині дипломного проекту. Його доцільно встановлювати в мийному відділенні цеху технічного обслуговування і ремонту.

Універсальний блок вбудовується в існуючий корпус приладу СТС замість плат виміру струму витоку і підключається до існуючій у блоці сигналізації.

Підлягає і зміні контактна мережа в мийній ділянці. Для виконання вимірів струму витоку після виконання мийно - збиральних робіт пропонується використовувати схему комутації контактної мережі, аналогічну стенду СКПТ. Схема допрацьовується для введення додаткової функції проїзду тролейбусом мийної машини при зниженій напрузі. Така доробка потребує додаткової установки комутаційних елементів ДОЗ, ДО, що забезпечують підключення на низької напруги для проїзду мийної машини (80В) або максимальної напруги контактної мережі при вимірі струму витоку. Буде потрібна зміна потужності трансформатора, яка повинна бути не нижче максимальної потужності, необхідної для забезпечення зазначених функцій.

Потужність трансформатора для забезпечення проїзду мийної машини дорівнює:

$$N=U \cdot I \quad (3.1)$$

Де N - потужність трансформатора, Вт

I - максимальне споживання струму тролейбуса при проїзді мийної машини (100А) або при вимірі струму витоку (50 мА)

U - напруга контактної мережі, необхідне для проїзду мийної машини (80В) або для виміру струму витоку (900В). Підставляючи вихідні дані, одержимо:

- для проїзду мийної машини

$$N=80 \cdot 100=8000 \text{ Вт або } 8 \text{ кВт};$$

- для виміру струму витоку

$$N=900 \cdot 50 \cdot 10^{-3} =45 \text{ Вт}$$

Таким чином потужність трансформатора повинна складати 8 кВт.

3.5 Організаційні і технічні заходи діагностики тролейбусів

Застосовувана в більшості депо система ремонтів тролейбусів з канонізованими міжремонтними пробігами, заснована на середньостатистичних оцінках технічного стану сукупності машин, не задовольняє сучасним вимогам її за рівнем витрат, по надійності роботи тролейбусів на лінії. Сучасний тролейбус - досить складна машина, що включає в себе механічні, пневматичні, гідравлічні, електромеханічні й електронні вузли, що використовують у процесі функціонування найрізноманітніші фізико-хімічні процеси з різним характером і рівнем навантажень. Надійність вузлів машини далеко не рівнозначна, у той же час більшість агрегатів ремонтується через однаковий міжремонтний пробіг, наприклад, при середньому ремонті.

У процесі ремонту агрегатів роблять заміну окремих зношених деталей на нові або відновлені, у результаті в кожному однотипному агрегаті є, по суті, випадкове сполучення деталей з різним залишковим ресурсом. Це в сполученні з випадковим характером нагруження агрегату (профіль маршруту, пасажиропотік і ін.) приводить до того, що через той самий пробіг після ремонту технічний стан агрегатів по-різному - частина з них відмовляє в міжремонтний період, а інша піддається передчасному ремонту.

У таких умовах керування технічним станом окремих агрегатів, складальних одиниць і систем тролейбуса за результатами контролю параметрів технічного стану - ефективний засіб підвищення надійності машин і зниження витрат на їхнє відновлення.

Значні резерви зниження витрати матеріалів, електроенергії, трудових ресурсів можуть бути наведені в дію впровадженням у тролейбусні депо країни спеціального контрольно-діагностичного устаткування.

Для тролейбусного транспорту, основне призначення якого - масове перевезення пасажирів, умови безпеки дорожнього руху й електробезпеки грають надзвичайно більшу роль. Як показує аналіз, необхідні умови безпеки перевезення пасажирів можуть бути забезпечені тільки із застосуванням нових методів і засобів контролю технічного, стану агрегатів, що впливають на безпеку руху.

Так, до впровадження стендів контролю гальм перевірка ефективності гальмових механізмів провідних мостів проводилася з низькою точністю, візуально, при «вивішуванні» коліс моста на пості технічного обслуговування, а контроль ефективності гальм ведених мостів Існуючі в більшості депо методи й засоби контролю струмів витоку не забезпечують повною мірою електробезпеку тролейбусів.

Нагальна потреба в розробці засобів контролю технічного стану електроустаткування тролейбусів виникла у зв'язку з початком масового впровадження особливо складного рухливого складу з ТІСУ. Визначення правильності функціонування й пошук елемента, що відмовив, у таких системах без засобів діагностування практично неможливі.

Таким чином, розробка й впровадження ефективних засобів і методів контролю технічного стану елементів, агрегатів і блоків тролейбуса, використання результатів такого контролю для проведення відбудовних робіт різних видів (ремонт, регулювання й ін.) в обсягах і строках, близьких до оптимальних, і з необхідною точністю є актуальним завданням. Її актуальність зростає в міру підвищення вимог до надійності роботи машин на лінії, до зниження витрати трудових і матеріальних ресурсів у сфері Р та ТО, до більше раціонального використання електроенергії.

Крім того, наявність діагностичної інформації дозволяє істотно підвищити оперативність і вірогідність прийнятих рішень по підготовці й керуванню виробничими процесами в підрозділах депо. Визначення технічного стану об'єкта, особливо такого складного, як тролейбус,- це процес логічного мислення з обробкою різноманітної вихідної інформації, отриманої в момент контролю за допомогою технічних засобів, суб'єктивними методами, а також інформації про передісторію об'єкта, про закономірності зміни технічного стану сукупності аналогічних об'єктів. Тому в процесі визначення технічного стану об'єкта користуються, у загальному випадку, комбінацією різних методів, у тому числі об'єктивного й суб'єктивного діагностування.

На МЕТ об'єктивне діагностування може здійснюватися убудованими й зовнішніми технічними засобами, а суб'єктивне - лінійним водієм у процесі роботи на маршруті, маневровим водієм, слюсарем, майстром, інженерно-технічними працівниками.

Очевидна перевага об'єктивних засобів діагностування (стендів, пристроїв). Разом з тим не можна розглядати суб'єктивні методи контролю як щось архаїчне й відживаюче своє століття. У ряді випадків людина не уступає технічним засобам діагностування. Кваліфікований виконавець на основі логічного мислення може дати досить об'єктивний висновок про технічний стан елементів, користуючись окремими розрізненими симптомами.

По цілому ряді параметрів і ознак, що характеризують зовнішній вигляд, санітарне стан і т.д., оцінити стан машини взагалі може тільки людина. У відшуканні ряду дефектів, виявленні видимих тріщин, деформацій, подгаров і т.п.

людина значно перевершує по швидкості й гнучкості дій технічні засоби діагностування. У процесі суб'єктивного контролю технічного стану об'єкта виконавець переробляє інформацію, сприйману тільки органами почуттів (зір, слух, дотик). Такий метод вимагає, природно, менших первісних витрат, чим контроль із використанням технічних засобів.

Разом з тим тільки технічні засоби діагностування можуть фіксувати процеси, що протікають із великою швидкістю, наприклад реагувати на характер зміни струму, напруги, тиску повітря, гальмових моментів і т.п., вимірювати параметри стану з високою точністю, розпізнавати рідко виникаючі явища, у тому числі по непрямим ознаках, багаторазово й з високою стабільністю фіксувати значення параметрів стану.

Тому при контролі технічного стану тролейбусів необхідно розумно сполучити можливості людини й технічних засобів. Нові технічні засоби діагностування повинні створюватися тільки при чіткої техніко-економічної аргументу ции. У ряді випадків технічні засоби діагностування повинні використатися для розширення можливостей стандартних методів контролю. Наприклад, застосування стендів зі скляними роликками, що імітують різні швидкості руху мотокони з різним крутним моментом, полегшує одержання суб'єктивного висновку про технічний стан трансмісії тролейбуса.

По місцю застосування можна виділити три групи засобів діагностування, а саме діагностування:

- елементів, агрегатів, блоків безпосередньо на тролейбусі в павільйонах депо;
- агрегатів, блоків в агрегатних цехах депо;
- елементів, блоків, агрегатів на маршруті.

У всіх трьох випадках застосовують як стаціонарні, так і мобільні засоби діагностування.

До основних завдань діагностування елементів, агрегатів і блоків безпосередньо на тролейбусі ставляться:

контроль параметрів технічного стану елементів, агрегатів, блоків, відновлюваних безпосередньо на тролейбусі з метою визначення обсягів ТЕ й Р

по стані; проведення регулювальних робіт за допомогою контрольно-діагностичного встаткування в процесі діагностування (регулювання пневмо- і гальмових систем, сходження коліс, зазорів у підшипниках маточин, натискання струмоприймачів, внутрішнього тиску в шинах, уставок електричних апаратів і т.д.);

визначення залишкового ресурсу агрегатів і блоків тролейбусів, відновлюваних агрегатним методом, з метою призначення строку їхнього демонтажу по стані; визначення часу постановки тролейбуса в плановий ремонт. У числі агрегатів і блоків, демонтируемых по стані: тягові електродвигуни, допоміжні електричні машини, реостатні контролери, вузли системи низьковольтного електропостачання, редуктори провідного моста, карданні вали й ін.;

контроль якості виконаних робіт і проведення регулювань після планових і непланових ремонтів;

пошук агрегату, що відмовив, блоку, елемента на тролейбусах непланового ремонту;

вибіркове діагностування окремих тролейбусів на вимогу ОТК, керівництва технічної служби, а також при сезонній підготовці тролейбусів і в інших аналогічних випадках.

Основні завдання діагностування агрегатів, блоків в агрегатних цехах наступні:

пошук елемента, що відмовив (в основному в блоках електромеханічних і ТІСУ);

контроль якості виконаних ремонтних заходів і проведення регулювальних і налагоджувальних робіт. Крім того, варто вказати ще на одну важливу функцію контролю технічного стану агрегатів і блоків в агрегатних цехах. Ремонт вузлів у цехах, особливо механічних, пневматичних і гідравлічних систем, здійснюють, як правило, при їхньому повнім розбиранні. Це дає можливість безпосередньо виміряти ряд параметрів конструктивних елементів з реєстрацією їх у картці (паспорті) агрегату.

Зазначена інформація повинна накопичуватися й використатися при поглибленому діагностуванні агрегату безпосередньо на тролейбусі для прогнозування залишкового ресурсу агрегату.

Діагностування тролейбусів на маршрутах може здійснюватися автоматизованими стаціонарними стендами, наприклад дискретний контроль струмів витоку, а також мобільними засобами. В останньому випадку ціль діагностування - пошук агрегату, що відмовив, блоку, елемента й оцінки можливості відновлення працездатності машини без заходу в депо.

Глибина діагностування залежно від мети контролю різна. Так, при контролі параметрів технічного стану, які можуть бути відновлені безпосередньо на тролейбусі (шляхом заміни деталі, регулювання, чищення, сушіння й т.д.), воно ведеться на рівні елементів.

При поглибленому діагностуванні безпосередньо на тролейбусі агрегатів або блоків, відновлюваних агрегатним методом, контроль на рівні елементів є надлишковим, тому що при невідповідності допускають значенням, що, вихідних параметрів вузла останній підлягає демонтажу й відправленню в агрегатний цех незалежно від елемента, що викликав несправність.

Причиною зниження продуктивності компресора може бути зношування декількох деталей циліндро-поршневої трупи, однак кожен з них можна відновити тільки після розбирання компресора. Тому немає необхідності в процесі діагностування на тролейбусі встановлювати, яка саме деталь вимагає відновлення.

Діагностування тролейбуса, що відмовив, на маршруті мобільними засобами ведеться до рівня елемента, коли він може бути відновлений безпосередньо на маршруті. В окремих випадках таке діагностування може вестися до рівня агрегату або блоку, якщо цей вузол можливо замінити в умовах маршруту (наприклад, плата ланцюгів керування ТІСУ).

Одним з етапів розробки методів і засобів контролю технічного стану тролейбусів є створення спеціалізованих засобів діагностування, нерідко досить складних. Тому що деякі параметри технічного стану об'єктивно проявляють себе тільки в дорожніх умовах при режимах реальних нагружень, виникає

необхідність імітації роботи тролейбуса в умовах цеху на спеціалізованих стендах, наприклад з біговими барабанами.

Це дозволяє багаторазово відтворити режим роботи тролейбуса, адекватний дорожнім умовам, і здійснити не тільки необхідний контроль, але й регулювальні роботи. Спеціалізовані стенди необхідні також для імітації реальних режимів роботи окремих агрегатів і блоків, знятих із тролейбуса й відновлюваних в агрегатних цехах.

Розробка й організація виробництва спеціалізованих стендів вимагають певних матеріальних витрат, тому в першу чергу необхідно створювати засобу діагностування, від яких очікується найбільший ефект. На жаль, нерідко доцільність створення засобів контролю визначають емпіричним шляхом. Іноді в першу чергу розробляють діагностичні пристрої для вузлів, які легко піддаються апаратурному контролю, хоча доцільність його недостатньо обґрунтована. На практиці ці пристрої не використовуються.

Розробку нових засобів діагностування- для вузлів, що впливають на безпеку дорожнього руху й електробезпеку, необхідно вести у всіх випадках, коли існуючі засоби й методи контролю не забезпечують нормативних показників безпеки із заданою ймовірністю. Якщо нормативні показники безпеки виконуються із заданою ймовірністю, розробку нових засобів діагностування ведуть лише тоді, коли ці засоби дозволяють зменшити витрати на ТО й Р без погіршення умов безпеки.

Аналогічний підхід повинен дотримуватися при визначенні доцільності розробки нових засобів діагностування для інших вузлів, параметри яких (комфортабельність, культура обслуговування й т.д.) задаються нормативними документами.

При розробці діагностичного забезпечення тролейбусів повинен ураховуватися, природно, досвід створення методів і засобів діагностування складних об'єктів техніки, у тому числі на автомобільному, залізничному й водному транспорті, в авіації, сільському господарстві, радіоелектронній промисловості й ін.

3.6 Зниження технічного стану тролейбусів в процесі експлуатації

Можливий варіант експлуатації виробу до відмови без яких-небудь робіт з ТО й Р у процесі використання з наступною повною його утилізацією після відмови. Однак економічно це доцільно тільки для обмеженого числа найпростіших виробів. У загальному випадку, особливо в складних механізмах, при відмові одного з елементів ресурс інших виявляється вичерпаним не повністю.

Усунути виникла відмова або здійснити профілактичні впливи по його попередженню, як правило, більш вигідно, ніж придбати нову машину. Така ситуація виникає через технічну неможливість, а також економічної недоцільності створити конструкцію складної машини з рівним ресурсом всіх її елементів. У машині є, як правило, відносно довговічні деталі, термін служби яких порівнюємо з періодом експлуатації, а також елементи, які швидко виходять з ладу.

У механічних вузлах тролейбусів самими недовговічними елементами є деталі, піддані зношуванню тертям. Так, ресурс балки веденого моста становить понад 1-1,5 млн. км пробіг без яких-небудь ремонтно-відбудовчих впливів, а іншу деталь веденого моста - накладку гальмової колодки - потрібно замінити через 50-70 тис. км. При цьому часткове зношування останньої змушує через 2-3 тис. км регулювати зазор між накладкою й гальмовим барабаном.

Значно розрізняються терміни служби контактів електричних апаратів і їхніх обмоток. У свою чергу, термін служби обмоток значно нижче, ніж магнітопроводов і корпусів цих апаратів.

Іноді затверджують, що зношування деталей машин, їхня заміна в процесі експлуатації - недолік конструкції, і в машинах майбутнього не буде змінюваних або ремонтуємих деталей. Таке твердження безпідставно.

Створити рівнодійною таку складну машину, як тролейбус, навряд чи вдасться. Різні деталі навіть у тому самому агрегаті сприймають істотно відрізняються за значенням і характером навантаження й інших впливів. Це впливає з основ теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, теорії електричних машин і апаратів.

Забезпечити конструктивними й технологічними мірами однаковий темп зношування всіх деталей не представляється можливим. У якійсь ступені ресурс їх можна зблизити, але при цьому буде потрібно або збільшити масу деталей, або використати дорогі матеріали, або застосувати складну, дорогу технологію виробництва.

В остаточному підсумку вартість виготовлення такої, близької до равнопрочной, машини буде значно перевищувати витрати на виготовлення й періодичне відновлення машини такого ж призначення, у якій передбачена заміна деталей або інші ремонтно-обслуговуючі впливи в процесі експлуатації. Крім того, більше важка машина зажадає, природно, і більшої витрати енергії на виконання корисної роботи.

Раціональним є не створення за всяку ціну машини, що не бідує в технічних впливах, а облік конструктивних, технологічних і інших факторів як у сфері виробництва, так і в сфері експлуатації, при яких сумарні питомі витрати на виготовлення машини і її експлуатацію були б мінімальні в заданих умовах використання.

У міру створення нових матеріалів, технологій і вдосконалювання методів конструювання машин потреба у відбудовних впливах буде зменшуватися. У тролейбусах нових типів знижені обсяги мастильних і кріпильних робіт, різко зменшилися відбудовні впливи але електроустаткуванню після заміни контакторно-реостатних систем керування на ТІСУ.

Відомі приклади, коли поліпшення компоновання агрегатів значно знижувало обсяги робіт по ТО й Р. Так, перенос пуско-тормозних реостатів на тролейбусах Тр-9 з-під кузова на дах машини практично виключив їхню численну відмови в дощову або сніжну погоду. Значні резерви підвищення надійності криються в поліпшенні конструкції ряду інших вузлів машин.

Однак неможливо в доступній для огляду перспективі створити тролейбус, що не бідує в ТО або Р взагалі й имеющий кращі техніко-економічні показники, чим аналогічна машина, для якої передбачені періодичні ТО й Р.

Таким чином, роботи з ремонту й обслуговування є й залишаться в доступній для огляду перспективі невід'ємним елементом експлуатації тролейбусів, тому що

потреба в них виникає через неможливість і недоцільність створення машини з рівним ресурсом всіх її елементів.

Оптимізація всіх процесів керування технічним станом такої складної системи, як тролейбус- актуальна проблема. Найбільше доцільно вирішувати її на стадії створення тролейбусів у тісному зв'язуванні конструкції вузлів з майбутнім режимом контролю їхнього технічного стану й умов відновлення на транспортних підприємствах. Однак, на жаль, розробку методів і засобів керування технічним станом конкретного типу тролейбуса починають тільки після його запуску в серійне виробництво.

Новий тролейбус характеризується сукупністю властивостей, окремі показники яких потім змінюються в процесі експлуатації, знижуючи ефективність його роботи. Темп зниження ефективності визначається й сферою виробництва, і сферою експлуатації.

Для одержання найбільшого ефекту від використання тролейбуса в експлуатації здійснюють систематичні впливи по частковому або повному відновленню властивостей машини або впливи по запобіганню очікуваного погіршення. Вибір відбудовних впливів тісно пов'язаний зі зміною властивостей тролейбуса в часі, тобто з погіршенням його технічного стану.

Найбільш істотні негативні наслідки або втрати від погіршення технічного станів тролейбуса під руйнуючим впливом експлуатаційних навантажень при несвоєчасних відбудовних впливах можна умовно об'єднати в чотири групи:

перша - втрата працездатності машини, що виключає продовження транспортного процесу з витекаючими звідси економічними й соціальними втратами;

друга - погіршення умов безпеки руху й електробезпечності, а саме погіршується керованість машини й стійкість її руху; збільшується гальмовий шлях; виникають несинхронність спрацьовування й розбіжність в абсолютних значеннях сил гальмових механізмів; зменшується зчеплення шин з дорогою; росте ймовірність повної відмови гальм, рульового керування, коліс, ресор, дверних приводів, зовнішньої сигналізації; збільшується струм витoku; виникає

потенціал на корпусі тролейбуса й окремих його деталей, до яких можливе дотик пасажирів або обслуговуючого персоналу, і т.д.;

третя - зниження комфортабельності й інших властивостей машини, що впливають на культуру обслуговування, а саме погіршується плавність ходу, гальмування й пуску, збільшуються шум і вібрація в салоні, росте ймовірність часткової або повної відмови опалення, вентиляції й висвітлення салону, погіршуються внутрішній вид і санітарний стан салону, зовнішній вигляд машини й т.д.;

четверта - зниження економічності експлуатації, тобто збільшується проти нормального (теоретично неминучого) темп зношування конструктивних елементів машини, питома витрата електроенергії через ріст опору руху й т.д.

Першопричиною зміни властивостей машини є деградація її елементів під руйнуючим впливом експлуатаційних навантажень різної природи. Тролейбус у процесі виконання корисної роботи піддається впливам різних зовнішніх і внутрішніх факторів. Якісні зміни проявляються в порушенні спочатку закладених найкращих взаємодій елементів машини, що в остаточному підсумку погіршує її якісні показники, тобто вихідні параметри.

У процесі експлуатації деградують насамперед найпростіші конструктивні елементи машини - деталі. Кожний елемент має в машині своє призначення, для виконання якого йому в процесі конструювання й виготовлення надають певні властивості.

Кількісна міра, що характеризує одне із властивостей елемента, називається параметром елемента. Параметри визначають всіляку природу елемента залежно від його призначення (геометричні розміри, міцність, пружність, герметичність, хімічний склад, чистоту поверхні, оптичні величини, а також електропровідність, індуктивність, електричну ємність і ін.).

У процесі експлуатації відбувається зношування конструктивних елементів - деталей. Під зношуванням розуміється не тільки механічне зношування, але й всі інші види змін первісних параметрів конструктивних елементів, у тому числі зміна їх фізичних і хімічних характеристик. Зношування або зміна стану елементів машини відбувається не тільки в процесі її роботи, але й у період

зберігання під впливом зовнішніх, головним чином атмосферних, умов, а також внаслідок зміни в часі молекулярної й субмолекулярної структур речовин.

У процесі роботи й зберігання машин відбувається зношування деталей внаслідок механічного, молекулярно-механічного й корозійно-механічного впливів, а також втрата пружності. У деталях і вузлах електричних ланцюгів змінюються механічні й електромеханічні властивості пластмас, гуми, виникає кристалізація провідного шару плівкових резисторів, що супроводжується зміною опору, відбуваються хімічні перетворення в єднальному й просочувальному ізоляційному матеріалах, утворюються тріщини й наскрізні канали в ізоляції, підвищується її водопроникність.

У цей період погіршується герметизація електролітичних конденсаторів, розвивається електромеханічне зношування контактів електричних апаратів і машин. Відбуваються хімічні й фізико-хімічні зміни властивостей змащення, масел, електроліту.

Наприклад, одним з важливих параметрів балки переднього моста тролейбуса є сукупність геометричних розмірів, що визначають положення отвору під втулку шворня стосовно осі балки. Ці розміри задають кут розвалу коліс, що грає важливу роль у керованості машини, зношуванні гуми й опорі руху.

Однак у тролейбуса, що рухається винятково по вдосконаленому дорожньому покриттю, практично не змінюється геометрія балки моста. Тому такого роду параметр, важливий при конструюванні й виготовленні деталі, не представляє інтересу при створенні системи ТО й Р. Товщина середньої частини балки переднього моста зменшується через корозійне зношування, однак практично це не впливає на міцність балки, що служить аж до списання машини.

У той же час на машині можна виділити іншу групу параметрів, які, змінюючись у процесі експлуатації, впливають на властивості машини безпосередньо або через інші її елементи в такому ступені, що доводиться застосовувати відбудовні впливи кілька разів до повного фізичного або морального зношування машини. Це, по суті, що деградують параметри конструктивних елементів.

Стосовно до широкого класу машин і механізмів у технічній літературі зустрічаються терміни, що позначають: параметри технічного стану, що визначають параметри, що зношують (старіючі) функціональні, структурні.

Будемо користуватися терміном параметри технічного стану конструктивних елементів, розуміючи під ним параметри елементів машин, що змінюються в процесі експлуатації й підмети періодичному відновленню для підтримки певних властивостей машини.

Очевидно, конструктивний елемент може не мати жодного параметра технічного стану, мати один (однопараметричний елемент) або кілька параметрів (багатопараметричний).

Як відомо, набір конструктивних елементів, нехай навіть із найкращими первісними параметрами, ще не'обеспечивает працездатність машини, тому що в її функціонуванні важливе значення має стан взаємодії конструктивних елементів.

Найпростіша складальна одиниця, що складається з декількох конструктивних елементів, має певні вихідні параметри. Частина з них визначена параметрами конструктивних елементів, у неї вхідних, а інша є самостійною групою параметрів і впливає зі ступеня механічної, електромеханічної, фізико-хімічної або іншої взаємодії конструктивних елементів, їх взаиморасположения й т.д.

До таких параметрів звичайно відносять щільність нарізних сполучень і з'єднань пневмо- або гідроелементів; зазори; натяг регульованих пружин, пасових передач; тиск у шинах; уставки (струми, напруги, частоти й т.д.) комутуючих апаратів і ін.

Назвемо їхніми параметрами неконструктивних елементів, а ті з них, що змінюються в процесі експлуатації, впливають на властивості машини й підлягають тому періодичному відновленню,- параметрами технічного стану неконструктивних елементів.

Умовно приймемо, що технічний стан машини характеризують не всі параметри конструктивних і неконструктивних елементів, а тільки частина з них. Тоді з позиції ТО й Р можна враховувати тільки ті параметри конструктивних і

неконструктивних елементів, які є потенційними носіями погіршення властивостей машини. Більшості своїх параметрів технічного стану елементів мають кількісну оцінку у вигляді номінального (первісного) поточних і граничного значень.

З урахуванням прийнятих визначень поточне значення параметра технічного стану і якість машини в експлуатації мають певний зв'язок. Аналіз цього зв'язку можна вести на різних рівнях - на рівні параметрів елементів або узагальнених параметрів груп елементів, вузлів, агрегатів, блоків.

Будемо йменувати деградуючі узагальнені параметри вузлів, агрегатів, блоків також параметрами їхнього технічного стану.

Позначимо в інтегральні, зведені в один показник всі види втрат через відхилення параметра технічного стану від номінального значення.

Перший вид зв'язку можливий також у тому випадку, коли має місце не безпосередній вплив якого-небудь параметра на величину v , а цей вплив виявляється за допомогою впливу на інший параметр.

Прикладом другого виду зв'язку є тиск у шинах і інтенсивність зношування шин, коли зношування шин збільшується вже при незначному зменшенні тиску в них.

Як приклад третього виду зв'язку можна привести втрату працездатності півосі через усталостного руйнування. Збільшення довжини усталостної тріщини, що є одним з параметрів технічного стану півосі тролейбуса, не спричиняє ніяких втрат до моменту руйнування півосі, після чого втрати в дорівнюють втратам від відмови тролейбуса.

Висновок до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто питання розробки, експлуатації, системи технічного обслуговування та діагностики електричного обладнання тролейбусів. Встановлено, що правильність технічних рішень щодо електробезпеки має перевірятися ще під час попередніх та приймальних випробувань. Оцінка якості ізоляційних матеріалів та ізоляторів передбачає перевірку їхньої здатності витримувати випробувальну напругу 3200

В та зберігати свої властивості під впливом високої вологості. При цьому опір ізоляції має становити не менше 20 МОм за нормальних умов і не менше 1 МОм при підвищеній вологості.

Аналіз існуючої системи контролю під час експлуатації показав, що оцінка електробезпеки за фіксованим гранично допустимим струмом витоку (3 мА) є недостатньою, оскільки вона не враховує можливого підвищення напруги в мережі та погіршення метеорологічних умов. Для вирішення цієї проблеми запропоновано триетапну стратегію управління електробезпекою: постійний контроль вбудованими бортовими пристроями на маршруті, перевірку допустимих значень струму витоку під час заїзду в депо чи на огляди, а також поглиблений контроль опору та міцності ізоляції під час планових ремонтів. Для ефективної реалізації цієї стратегії запропоновано комплекс уніфікованих технічних засобів, який включає мобільний індикатор, стаціонарний пристрій для мийних відділень та бортовий індикатор для безперервного моніторингу.

Також доведено, що традиційна система ремонтів із жорстко регламентованими міжремонтними пробігами є неефективною через різний ресурс та випадковий характер зношування окремих деталей. Підвищення надійності та зниження витрат вимагає переходу до технічного обслуговування за фактичним станом об'єкта, що базується на результатах діагностування. Оскільки створення складної машини з однаковим і нескінченним ресурсом усіх деталей неможливе та економічно недоцільне, експлуатаційне зношування є неминучим. Несвоєчасне відновлення деградуючих параметрів призводить до втрати працездатності тролейбуса, зниження безпеки руху й електробезпеки, погіршення комфорту пасажирів і зростання витрат. Тому раціональне поєднання об'єктивного (апаратного) та суб'єктивного діагностування є ключовим фактором для своєчасного виявлення несправностей та підтримки належного технічного стану тролейбусів.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, направлених на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Загальними законами України, які визначають основні положення по охороні праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України і Закон України «Про охорону праці». Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві і галузеві акти про охорону праці, а саме:

- Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці;
- Будівельні норми і правила;
- Санітарні норми;
- Правила пристрою електроустановок;
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів;
- Правила технічної експлуатації трамвая і тролейбуса та інші.

Соціально - економічними заходами передбачаються економічні методи управління охороною праці такі як :

- створення фондів охорони праці;
- обов'язкове соціальне страхування від нещасних випадків і професійних захворювань;

- збереження середнього заробітку за працівником у разі відмови від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для життя або здоров'я;

- безкоштовне забезпечення лікувально – профілактичним живленням і інші пільги і компенсації працівникам, зайнятим на роботах з важкими і шкідливими умовами праці;

- відшкодування працівникові збитку у зв'язку з каліцтвом або іншим пошкодженням здоров'я (або його сім'ї у разі смерті потерпілого), пов'язаним з виконання трудових обов'язків.

Організаційно - технічні заходи і засоби, покликані забезпечити такий рівень організації праці на підприємстві і такі технічні (інженерні) рішення щодо охорони праці для всього технологічного процесу, окремого устаткування і інструментів, які виключали б вплив на працівників небезпечних виробничих чинників, а також виключали б або знижували до допустимих нормативних значень вплив на працівників шкідливих виробничих чинників.

Організаційними заходами охорони праці є: правильна навчена працівників; чітке і своєчасне проведення інструктажів і контроль знань по охороні праці; правильне планування робочих місць; правильний зміст проходів і проїздів; дотримання правил проведення робіт і допуску до роботи; правильна організація праці – зручна робоча поза, чергування роботи і відпочинку, відсутність фізичного перенапруження; застосування безпечних способів праці та інші.

Технологічними (інженерними) заходами і засобами охорони праці є: застосування технічно довершеного устаткування, інструментів, пристосувань, транспортних засобів і енерготехнічних систем; наявність технічно довершених засобів колективного захисту (огорож, запобіжних пристроїв, блокування, сигналізації, систем дистанційного керування; спеціальних засобів - заземлення, занулення) і інших.

Санітарно - гігієнічні заходи передбачають:

- дослідження впливу виробничих чинників на людину;
- встановлення допустимих значень цих чинників на робочих місцях;

- визначення фактичних значень конкретних параметрів виробничих чинників на робочих місцях;
- визначення відповідності умов на робочих місцях вимогам нормативних документів.

Лікувально - профілактичні заходи передбачають:

- відповідні попередній і періодичний медичні огляди працівників;
 - переклад працівників на легшу роботу за станом здоров'я;
 - безкоштовне забезпечення лікувально - профілактичним живленням працівників на роботах з важкими і шкідливими умовами праці;
 - відшкодування працівникові витрат, що потерпів, на лікування, протезування, придбання транспортних засобів, по догляду за ним і інші види медичної допомоги;
 - особливі вимоги по охороні праці жінок, неповнолітніх і інвалідів.
- Завданням даного розділу проекту є:
- розробка організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпечні умови праці при виконанні робіт по контролю якості ремонту тролейбуса
 - формування вимог до протипожежної безпеки тролейбуса.

4.2 Аналіз умов праці

Найбільш загальними складовими технологічного процесу контролю якості ремонту в частині рульового управління є:

- виконання робіт на рухомому транспортному засобі;
- робота з високими рівнями напруги електричних машин приводу стенду;
- спалах транспортного засобу при виконанні натурних випробувань після ремонту.

Технологічні операції контролю збіжності коліс тролейбуса на стаціонарному стенді здійснюються в закритому приміщенні, що породжує недолік штучного освітлення.

Відповідно до цього на ділянці є наступні фізично небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

- рухомі машини і механізми;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- недостатня освітленість робочих місць.

Основні вимоги, що регламентують безпечні прийоми виконання робіт за наявності рухомих машин і механізмів викладені в Правилах техніки безпеки на електричному транспорті.

Забезпечення безпечних прийомів роботи за наявності підвищеного напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини, здійснюється шляхом:

- заземлення стаціонарного стенду контролю збіжності коліс тролейбуса;
- виконання вимог Правил техніки безпеки на електричному транспорті.

4.3 Розрахунок освітлення робочого місця

У представленому розділі пропонується методика розрахунку необхідного рівня освітлення для робочого місця, обладнаного стаціонарним стендом контролю збіжності коліс тролейбуса.

Для виконання розрахунку прийняті наступні початкові дані:

Довжина ділянки: $A = 18\text{м}$.

Ширина ділянки: $B = 6\text{м}$.

Висота ділянки: $H = 3\text{м}$.

Площа ділянки: $S = A \cdot B = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт віддзеркалення: стелі = 50%; стін = 30%; підлоги = 10%.

Прийнята система загального рівномірного освітлення.

Вид освітлення - робоче.

Освітленість горизонтальна по більшій осі на висоті від підлоги 0,5м - $E = 50\text{лк}$.

Коефіцієнти : запасу $K = 1,15$;

Нерівномірності освітлення $Z = 1 = 1,15$.

Світильники з лампою розжарювання ГОСТ 2239-79 типу НСП01.200|53 (Електричне освітлення і опромінювання, Київ. УСХА, 1989г.)

Розрахунок загального освітлення ділянки здійснимий методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Приймаємо, що висота свеса світильника $H_c = 0,4\text{м}$, тоді розрахункова висота:

$$H_p = H - H_c = 3 - 0,4 = 2,6\text{м}. \quad (4.1)$$

Відстань між світильниками: $L = 3,7\text{м}$.

Число світильників у ряді:

$$N_a = A/L = 18/3,7 = 5\text{шт.} \quad (4.2)$$

Число рядів:

$$N_b = B/L = 6/3,7 = 2\text{ряди.} \quad (4.3)$$

Всього світильників:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 5 = 10\text{ шт.} \quad (4.4)$$

Визначуваний індекс приміщення i з виразу :

$$i = \frac{S}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{108}{2,4 \cdot (18 + 6)} = 1,8 \quad (4.5)$$

Знаходимо по таблиці 6 (Електричне освітлення і опромінювання, Київ УСХА, 1989г.) для світильника НСП01 при $\eta_n = 50\%$, $\eta_z = 30\%$ $\eta = 10\%$ і $i = 2,0$ значення коефіцієнта використання світлового потоку η рівний 70%.

Визначуваний розрахунковий світловий потік лампи F_p з виразу:

$$F_p = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{50 \cdot 1,15 \cdot 108 \cdot 1,15}{10 \cdot 0,7} = 680 \quad (4.6)$$

З таблиці 3 (Електричне освітлення і опромінювання, м. Київ, УСХА, 1989г.) вибираємо лампу розжарювання БК 220-230-100, ГОСТ 2239-79, потужність 60 Вт і світловим потоком $F_1 = 700\text{ лм}$.

Фактична освітленість буде рівна (лк):

$$E_f = E_n = \frac{700}{680} \quad (4.7)$$

Відхилення фактичної освітленості від нормованої рівне:

$$\Delta E = \frac{E_f - E}{E} \cdot 100\% = \frac{51 - 50}{50} \cdot 100\% = 2\%, \quad (4.8)$$

що задовольняє допустимому відхиленню (-10,+20)%.

Встановлена потужність:

$$P_y = P_{\text{л}} \cdot N = 0,06 \cdot 10 = 0,6 \text{ кВт}. \quad (4.9)$$

Питома потужність освітлення:

$$P_{yd} = \frac{P_y}{S} = \frac{600}{108} \text{ Вт/м}^2. \quad (4.10)$$

4.4 Пожежна безпека

Тролейбус як транспортний засіб, є системою що має дуже високу насиченість електричних апаратів, електричних машин, і інших елементів, наслідки відмови яких може привести до спалаху тролейбуса.

Основними причинами спалаху тролейбусів, як показала практика їх експлуатації, є:

- несправності електропроводки – замикання на корпус, застосування проводів меншого перетину або ізоляцією невідповідної вимогами нормативної документації
- перегрів електричних машин і апаратів в наслідок неправильного регулювання вставок реле або несправності апаратів регулювання пуску і гальмування тролейбуса
- застосування нештатних запобіжників або несправності апаратів захисту.

Рішення задачі забезпечення протипожежного захисту на тролейбусі здійснюється шляхом виконання вимог ГОСТ 27815 «Автобуси. Загальні вимоги до безпеки конструкції» ГОСТ 25076 «Матеріали неметалічні для обробки інтер'єру автотранспортних засобів. Метод визначення вогнєнебезпечності», ОСТ 37.001.413 ССБТ. Кабіна. робоче місце водія, розташування органів управління вантажних автомобілів, автобусів і тролейбусів. Основні розміри. Технічні вимоги».

Проте, вказані Гости не містять прямих вимог до конструкції елементів тролейбусів. У зв'язку з цим завданням справжнього підрозділу є формування вимог протипожежної безпеки до тролейбусів на основі вимог вказаних Гостів. У таблиці 4.1. приведені вимоги ГОСТ 27815 і складені на їх основі вимоги по протипожежній безпеці тролейбуса.

Таблиця 4.1

Вимоги по протипожежній безпеці.

Вимога стандарту до автобуса	Вимога до тролейбуса
ГОСТ 278159 п.4.4.1.3. «Між моторним відділенням або будь-яким іншим джерелом тепла (таким як пристрій призначений для поглинання енергії, наприклад сповільнювач, або обігрівач приміщення за винятком використовуваного для своїх функцій гарячу воду) і рештою частини автобуса повинна бути розміщена перегородка з вогнестійкого матеріалу.	Між будь-яким джерелом тепла (наприклад реостати, контакторні панелі, обігрівач, кабельні канали) і рештою частини тролейбуса повинна бути розміщена перегородка з вогнестійкого матеріалу.
У відділеннях призначених для пасажирів і водія не повинно бути ніяких пристроїв і елементів паливної системи	У відділеннях призначених для пасажирів і водія не повинно бути ніяких пристроїв і елементів системи запобігання замерзанню пневмопроводов.
Розміщення паливних проводів і решти елементів паливної системи повинне максимально забезпечувати їх захист від пошкоджень	Розміщення електропроводки і решти елементів електроустаткування повинне забезпечувати їх захист від пошкоджень
Автобус повинен бути оснащений аварійним вимикачем, розташованим в межах досяжності з робочого місця водія і призначений для одночасного здійснення наступних функцій:	Тролейбус повинен бути оснащений хоч би одним високовольтним автоматичним вимикачем, розташованим в межах досяжності з робочого місця водія і призначений

Вимога стандарту до автобуса	Вимога до тролейбуса
– Миттєвої зупинки двигуна; – приведення в дію пристрою для зупинки подачі палива, яке має бути встановлене на паливопроводі якомога ближче до паливного баку; – приведення в дію вимикача акумуляторної батареї, який повинен бути встановлений поблизу, і здатного відключати хоча б одну з клем від джерела електрообладнання, за винятком ланцюга, який забезпечує виконання функцій, (вмикання аварійної сигналізації), і ланцюга живлення тахографа; – автоматичного увімкнення аварійної сигналізації автобуса.	для відключення тролейбуса від контактної мережі. Високовольтний автоматичний вимикач повинен встановлюватися в плюсовий дріт, другий вимикач може встановлюватися в мінусовій дріт. Не допускається одним вимикачем проводити розрив плюсового і мінусового дроту. Тролейбус повинен бути оснащений одним низьковольтним автоматичним вимикачем, розташованим в межах досяжності з робочого місця водія і призначений для відключення низьковольтного ланцюга тролейбуса від джерела(ів) живлення низьковольтного джерела. Низьковольтний автоматичний вимикач повинен встановлюватися в плюсовий дріт. При відключенні низьковольтного автоматичного вимикача повинна автоматично включатися аварійна сигналізація.
Аварійний вимикач повинен бути чітко позначений і мати опис способу приведення його в дію.	Високовольтний і низьковольтний вимикачі повинні бути чітко позначені
Всі електричні дроти повинні бути надійно заізолювані, і всі елементи електроустаткування повинні витримувати дію температури і вологості, якій вони піддаються. У моторному відділенні всі елементи електроустаткування повинні витримувати дію відповідних температур, масла і випаровувань.	Всі електричні дроти повинні бути надійно заізолювані, і всі елементи електроустаткування повинні витримувати дію температури і вологості, якій вони піддаються.
Ні у одному з дротів електричного ланцюга не допускається струм, сила якого перевищує допустиме значення для даного дроту, з урахуванням способу його установки і максимальної навколишньої температури	Ні у одному з дротів електричного ланцюга не допускається струм, сила якого перевищує допустиме значення для даного дроту, з урахуванням способу його установки і максимальної навколишньої температури
Кожен електричний ланцюг живлення будь-якого елементу устаткування, окрім стартера, ланцюга	Кожен електричний ланцюг живлення будь-якого елементу устаткування, окрім обмотки

Вимога стандарту до автобуса	Вимога до тролейбуса
запалення (у разі примусового запалення), свічок запалення, пристрою зупинки двигуна, зарядного ланцюга, і акумуляторної батареї, повинен оснащуватися плавкими запобіжниками або автоматичними розмикачами. Проте ланцюги живлячі пристрої з малим споживанням струму, можуть оснащуватися загальним плавким запобіжником або автоматичним розмикачем, за умови, що сила струму, що проходить через нього, не перевищуватиме 16А.	збудження тягового двигуна повинна оснащуватися плавкими запобіжниками або автоматичними розмикачами. Проте ланцюги живлячі пристрої з малим споживанням струму, можуть оснащуватися загальним плавким запобіжником або автоматичним розмикачем, за умови, що сила струму, що проходить через нього, не перевищуватиме 16А.
Всі дроти повинні бути надійно захищені і міцно укріплені, щоб виключалася можливість їх обриву, перетирання або зносу	Всі дроти повинні бути надійно захищені і міцно укріплені, щоб виключалася можливість їх обриву, перетирання або зносу
У випадках, коли середньоквадратична напруга в одній або декількох ланцюгах автобуса перевищує 100В, на кожній клемі незаземленого джерела енергії повинен бути встановлений ізольований ручний вимикач, що дозволяє відключати всі вказані ланцюги від основного джерела живлення ; ці вимикачі повинні бути розташовані в автобусі в зоні досяжності з робочого місця водія за умови, що жоден з таких вимикачів не повинен вимикати який-небудь електричний ланцюг живлення обов'язкових зовнішній вогнів автобуса.	У випадках, коли середньоквадратичний струм в одній або декількох ланцюгах тролейбуса перевищує 100В, на кожній клемі незаземленого джерела енергії повинен бути встановлений ізольований ручний вимикач, що дозволяє відключати всі вказані ланцюги від основного джерела живлення; ці вимикачі повинні бути розташовані на тролейбусі в зоні досяжності з робочого місця водія за умови, що жоден з таких вимикачів не повинен вимикати який-небудь електричний ланцюг живлення обов'язкових зовнішній вогнів тролейбуса.
Необхідно мати не менші два такі ланцюги внутрішнього освітлення, щоб вихід з ладу однієї з них не відбивався на функціонуванні інший. Ланцюг, службовка, тільки для постійного освітлення входу і виходу може розглядатися як одна з них.	Необхідно мати не менші два такі ланцюги внутрішнього освітлення, щоб вихід з ладу однієї з них не відбивався на функціонуванні інший. Ланцюг, службовка, тільки для постійного освітлення входу і виходу може розглядатися як одна з них.
Акумуляторні батареї повинні розташовуватися в легко доступному місці і бути добре закріплені. Акумуляторний відсік повинен бути відокремлений від пасажирського	Акумуляторні батареї повинні розташовуватися в легко доступному місці і бути добре закріплені. Акумуляторний відсік повинен бути відокремлений від пасажирського

Вимога стандарту до автобуса	Вимога до тролейбуса
салону і добре вентилюватися зовнішнім повітрям.	салону і добре вентилюватися зовнішнім повітрям
У автобусі повинні бути передбачені місця для установки одного або декількох вогнегасників, при цьому одне з місць винне знаходитися поблизу сидіння водія. Місце, передбачене для вогнегасника, повинне мати розмір не меншого 600x200x200 мм	У кабіні водія повинне бути передбачене місце для установки одного або декількох вогнегасників, при цьому одне з місць винне знаходитися поблизу сидіння водія. Місце, передбачене для вогнегасника, повинне мати розмір не меншого 600x200x200 мм
У автобусі повинні бути передбачені місця для установки однієї або декількох медичних аптечок. Місце, призначене для кожної аптечки, повинне мати розмір не меншого 360x200x100 мм	У кабіні водія повинно бути передбачено місця для установки однієї медичної аптечки. Місце, призначене для кожної аптечки, повинне мати розмір не меншого 360x200x100 мм

Наявність в конструкції тролейбуса системи опалювання з електричними нагрівальними елементами вимагає наявності одноманітних вимог, тоді як на автомобільному транспорті такі вимоги встановлені тільки для кабіни водія.

У таблиці 4.2. приведені вимоги ГОСТУ 37.001.413 і складені на їх основі вимоги по протипожежній безпеці тролейбуса, в частині елементів опалювальної системи.

Таблиця 4.2

Вимоги по протипожежній безпеці.

Вимога стандарту до кабіни	Вимога до системи опалювання кабіни і салону тролейбуса
Температура внутрішніх поверхонь кабіни, що нагріваються джерелами тепла, не повинна перевищувати 450С	Температура внутрішніх поверхонь кабіни і пасажирського салону, що нагріваються джерелами тепла, не повинна перевищувати 450С
Температура на виході з обігрівачів не повинна бути вище 800С	Температура на виході з обігрівачів не повинна бути вище 800С
Температура зовнішніх поверхонь воздухопроводів повинна бути не вище 700С	Температура зовнішніх поверхонь воздухопроводів повинна бути не вище 700С

Пожежна безпека тролейбуса забезпечується правильним підбором матеріалів обробки пасажирського салону і кабіни водія. У цій частині всі вживані матеріали повинні задовольняти вимогам не вогненебезпечності. ГОСТ 25076 регламентує

метод і устаткування для контролю вогнебезпечності вживаних матеріалів. Так до таких матеріалів відносяться матеріали, які при дії полум'я не займаються або займаються, але швидкість горіння не перевищує 5 мм/мін.

Виконання даної вимоги особливе важливо при виконанні капітальних ремонтів, де як правило замінюються всі обробні матеріали, у зв'язку з ремонтом кузова тролейбуса.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі було розглянуто питання охорони праці та забезпечення безпечних умов при виконанні робіт з контролю якості ремонту тролейбусів. Аналіз умов праці на ділянці (зокрема, при контролі збіжності коліс) дозволив виявити основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори: наявність рухомих машин і механізмів, небезпека ураження підвищеною напругою та недостатня освітленість робочих місць у закритому приміщенні. Для нейтралізації цих загроз запропоновано комплекс заходів, серед яких обов'язкове заземлення стаціонарного стенду та суворе дотримання Правил техніки безпеки на електричному транспорті.

Для вирішення проблеми недостатнього освітлення було проведено розрахунок системи загального штучного освітлення робочого місця зі стаціонарним стендом. Використовуючи метод коефіцієнта використання світлового потоку, було визначено необхідну кількість світильників — 10 одиниць із лампами розжарювання потужністю 60 Вт. Проведені розрахунки підтвердили, що така система забезпечує фактичну горизонтальну освітленість на рівні 56,4 лк, що задовольняє нормативні вимоги (50 лк) із допустимим відхиленням.

Окрему увагу приділено питанням пожежної безпеки тролейбуса, оскільки цей транспортний засіб характеризується високою насиченістю електричними апаратами та машинами. Встановлено, що основними причинами займання є несправності електропроводки, перегрів обладнання та використання нештатних запобіжників. Оскільки прямі державні стандарти щодо пожежної безпеки конструкції тролейбусів відсутні, на основі існуючих нормативів для автобусів

(ГОСТ 27815, ГОСТ 25076, ОСТ 37.001.413) було сформовано адаптовані вимоги. Вони передбачають встановлення вогнестійких перегородок, обов'язкову наявність високовольтних та низьковольтних автоматичних вимикачів у зоні досяжності водія, застосування негорючих матеріалів для обробки інтер'єру та жорсткі температурні обмеження для систем опалення.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення надійності, ефективності та безпеки експлуатації тролейбусів шляхом розробки автоматизованої системи моніторингу технічного стану тягового обладнання. Проведений аналіз методів діагностування тягових електродвигунів (ТЕД), тиристорно-імпульсних систем управління (ТІСУ) та стану ізоляції високовольтних ланцюгів довів необхідність переходу від жорстко регламентованої системи ремонтів до обслуговування за фактичним станом. Це дозволяє запобігати раптовим відмовам, своєчасно виявляти деградацію параметрів обладнання та суттєво підвищити загальну електробезпеку транспортного засобу у вологому середовищі.

Важливим етапом дослідження стало вирішення проблеми низької надійності вузла струмознімання під впливом динамічних навантажень та атмосферних факторів. Для підвищення довговічності контактної мережі та струмоприймачів запропоновано відмовитися від традиційних вугільно-графітових і металевих вставок та використовувати інноваційні контактні вставки з композиційного матеріалу на основі алюмінієвих сплавів із додаванням 50–60% дисперсних часток графіту. Застосування таких матеріалів забезпечує стабільне струмознімання на швидкостях до 60 км/год, значно знижує зношування контактного дроту завдяки змащувальним властивостям та гарантує надійну роботу навіть у складних погодних умовах.

Практична реалізація системи моніторингу знайшла відображення у розробці комплексного підходу до контролю електробезпеки. Запропоновано триетапну стратегію управління технічним станом ізоляції: безперервний контроль бортовими індикаторами на маршруті, регулярна перевірка мобільними індикаторами при заїзді в депо та поглиблене діагностування стаціонарними пристроями під час планових ремонтів. Такий підхід унеможливорює випуск на лінію тролейбусів із небезпечними струмами витоку, враховує вплив погодних умов та стрибків напруги, а також дозволяє оптимізувати витрати підприємств за рахунок ремонту за фактичним станом.

Окрема увага у роботі приділена умовам праці персоналу депо та пожежній безпеці. Для забезпечення безпечних умов виконання контрольних-діагностичних робіт розраховано систему загального штучного освітлення (яка забезпечує нормативні 50 лк), розроблено заходи захисту від ураження підвищеною напругою (зокрема заземлення стендів) та сформовано адаптовані вимоги до протипожежного захисту конструкції тролейбуса. У підсумку, впровадження запропонованих технологічних та технічних рішень дозволить створити цілком безпечні умови для пасажирів і персоналу, мінімізувати простої, подовжити ресурс експлуатації рухомого складу та підвищити конкурентоспроможність міського електротранспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Експлуатація та ремонт рухомого складу міського електричного транспорту / [Далека В.Х., Коваленко А.В., Буренніков Ю.А.]: Підручник. — Харків: 2010. — 315 с.
- 2) Автоматизація систем моніторингу на транспорті / [Медведев М.Г., Іванов О.О., Петренко В.І.]: Навчальний посібник. — Київ: 2018. — 240 с.
- 3) Тягові електричні машини. Експлуатація та діагностика / [Бойко В.Д., Сидоренко В.В.]: Підручник. — Дніпро: 2012. — 275 с.
- 4) Системи управління тяговим електроприводом міського транспорту / [Павлов В.І., Смирнов О.М.]: Монографія. — Харків: 2015. — 198 с.
- 5) Надійність та діагностика електрообладнання тролейбусів / [Козаченко В.Ф., Мельник О.В.]: Навчальний посібник. — Львів: 2019. — 210 с.
- 6) Тиристорно-імпульсні системи управління тяговими двигунами / [Романенко І.Г., Ткачук А.А.]: Підручник. — Київ: 2011. — 305 с.
- 7) Інформаційно-вимірювальні системи в електромеханіці / [Гришко В.М., Савченко О.П., Лисенко О.М.]: Навчальний посібник. — Одеса: 2017. — 260 с.
- 8) Електробезпека на міському електричному транспорті / [Шевченко В.П., Кравченко Ю.В.]: Практичний посібник. — Харків: 2014. — 185 с.
- 9) Теорія електричної тяги / [Куліш А.С., Бондаренко В.І.]: Підручник. — Дніпро: 2016. — 340 с.

- 10) Контактні мережі та струмознімання / [Захаров О.М., Левченко О.В.]: Монографія. — Київ: 2013. — 220 с.
- 11) Мікропроцесорні системи управління тяговим електроприводом / [Осадчий В.В., Поліщук Р.В.]: Навчальний посібник. — Запоріжжя: 2020. — 190 с.
- 12) Діагностування ізоляції високовольтних ланцюгів транспортних засобів / [Білоус О.А., Марченко В.І.]: Методичні вказівки. — Львів: 2018. — 112 с.
- 13) Композиційні матеріали в струмоприймачах електротранспорту / [Литвин В.О., Ковальчук С.С.]: Монографія. — Київ: 2021. — 165 с.
- 14) Основи автоматизації технічного обслуговування машин / [Тарасенко М.В., Гриценко В.М.]: Підручник. — Харків: 2015. — 280 с.
- 15) Системи технічного зору та моніторингу в реальному часі / [Дем'яненко О.В., Руденко І.І.]: Навчальний посібник. — Вінниця: 2019. — 215 с.
- 16) Вібраційна діагностика тягових електродвигунів / [Прокопенко В.В., Савченко М.М.]: Довідник. — Дніпро: 2017. — 145 с.
- 17) Експлуатаційна надійність міського електротранспорту / [Гаврилюк В.І., Остапенко О.М.]: Монографія. — Київ: 2012. — 230 с.
- 18) Алгоритми діагностування силової електроніки / [Терещенко О.В., Коваленко І.С.]: Навчальний посібник. — Харків: 2020. — 175 с.
- 19) Автоматизовані системи контролю електробезпеки / [Медведев М.Г., Романюк А.В.]: Монографія. — Київ: 2022. — 195 с.
- 20) Експлуатаційні матеріали міського транспорту / [Іванченко В.М., Петров О.С.]: Підручник. — Львів: 2011. — 250 с.
- 21) ДСТУ 9219:2023. Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови / [Держспоживстандарт України]: Нормативний документ. — Київ: 2023. — 45 с.
- 22) Правила технічної експлуатації трамвая та тролейбуса / [Міністерство інфраструктури України]: Нормативний документ. — Київ: 2015. — 120 с.
- 23) ГОСТ 23772-79. Тролейбуси пасажирські. Методи випробувань / [Держстандарт]: Нормативний документ. — Москва: 1980. — 35 с.
- 24) Охорона праці на транспорті / [Савченко В.В., Ткаченко О.М.]: Підручник. — Харків: 2018. — 310 с.

- 25) Пожежна безпека транспортних засобів / [Кравчук О.В., Лисенко В.І.]: Навчальний посібник. — Київ: 2016. — 180 с.
- 26) Методи неруйнівного контролю деталей електротранспорту / [Гончаренко В.І., Сидорук О.М.]: Монографія. — Дніпро: 2014. — 210 с.
- 27) Автоматизація технологічних процесів у депо / [Василенко О.В., Коваль А.С.]: Підручник. — Харків: 2019. — 265 с.
- 28) Бортові системи діагностики транспортних засобів / [Мельник В.О., Романенко І.В.]: Навчальний посібник. — Львів: 2021. — 200 с.
- 29) Електромагнітна сумісність тягових систем / [Гришко О.В., Тарасов М.М.]: Монографія. — Київ: 2017. — 195 с.
- 30) Сучасні датчики струму та напруги / [Осадчий М.В., Іванов В.С.]: Довідник. — Одеса: 2018. — 150 с.
- 31) Організація технічного обслуговування за фактичним станом / [Бондаренко О.В., Петренко М.М.]: Навчальний посібник. — Київ: 2013. — 225 с.
- 32) Моделювання систем електроприводу в MATLAB/Simulink / [Ткачук В.І., Козаченко О.М.]: Практикум. — Харків: 2020. — 240 с.
- 33) Інноваційні технології струмознімання / [Захаров В.М., Левченко О.В.]: Монографія. — Дніпро: 2015. — 170 с.
- 34) Надійність радіоелектронної апаратури керування / [Сидоренко В.В., Гаврилюк О.М.]: Підручник. — Львів: 2012. — 290 с.
- 35) Ергономіка та освітлення робочих місць на транспорті / [Ковальчук В.В., Романюк І.С.]: Навчальний посібник. — Київ: 2019. — 160 с.
- 36) Modern Urban Transit Systems and Technologies / [Vuchic V.R.]: Textbook. — London: 2007. — 624 p.
- 37) Condition Monitoring of Electrical Machines / [Toliyat H.A., Nandi S., Choi S., Meshgin-Kelk H.]: Monograph. — London: 2012. — 280 p.
- 38) Automated Diagnostics of Traction Drives / [Müller R., Schmidt K.]: Textbook. — Berlin: 2015. — 210 p.
- 39) Power Electronics in Transportation / [Steimel A.]: Monograph. — Munich: 2011. — 315 p.

- 40) Contact Lines for Electric Railways and Trolleybuses / [Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A.]: Textbook. — Berlin: 2018. — 450 p.
- 41) Reliability Assessment of Public Transport Systems / [Nowakowski T.]: Monograph. — Warsaw: 2014. — 190 p.
- 42) Electrical Safety in Urban Transit / [Brown J., Smith D.]: Practical guide. — London: 2016. — 175 p.
- 43) Diagnostics of IGBT Modules in Traction Applications / [Lutz J., Schlangenotto H.]: Textbook. — Munich: 2019. — 240 p.
- 44) Composite Materials for Current Collection / [Kowalski P., Wiśniewski M.]: Monograph. — Warsaw: 2021. — 155 p.
- 45) Sensor Networks for Real-time Condition Monitoring / [Gruber A., Meyer F.]: Textbook. — Vienna: 2017. — 260 p.
- 46) European Standard EN 50124-1. Railway applications - Insulation coordination / [CENELEC]: Normative document. — Brussels: 2017. — 48 p.
- 47) Maintenance Strategies for Electric Public Transport / [Dubois M., Laurent P.]: Monograph. — Paris: 2013. — 210 p.
- 48) Vibration Analysis in Rotating Machinery / [Taylor J.I.]: Textbook. — London: 2010. — 305 p.
- 49) Thermal Imaging for Electrical Inspections / [Hoffmann E.]: Practical guide. — Berlin: 2018. — 140 p.
- 50) Future Trends in Trolleybus Technologies / [Svensson O., Lindholm A.]: Monograph. — Stockholm: 2022. — 185 p.