

Шифр: Акумулятор

**ДІАГНОСТУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ
БАТАРЕЙ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ
ЖИВЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ**

(КОНКУРСНА РОБОТА)

Харків - 2020

РЕФЕРАТ

У конкурсній роботі на тему «ДІАГНОСТУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ» розглянуті питання підвищення ефективності використання рухомого состава й ресурсів підприємства за рахунок удосконалювання організації й технологічних процесів технічного обслуговування й ремонту низьковольтних систем живлення шляхом впровадження методів і засобів діагностування акумуляторних батарей.

У роботі частково представлені результати досліджень роботи низьковольтних систем живлення троллейбусів у різних режимах, а також запропоновано конструкцію спеціального технологічного й випробувального встаткування для контролю та обслуговування акумуляторних батарей.

Запропоновано метод визначення ємності акумуляторних батарей шляхом вимірювання їх повного електричного опору при частоті струму 200 та 500 Гц.

Загальний обсяг роботи 36 сторінок,
список літератури 19 найменувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: електричне обладнання, системи живлення троллейбусів, реле-регулятор, генератор, електронні перетворювачі напруги, акумуляторні батареї.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ХАРАКТЕРИСТИКА НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ.....	5
2 ДІАГНОСТУВАННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ НА РУХОМОМУ СКЛАДІ.....	10
3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....	15
3.1 Прилад для виміру ємності акумуляторних батарей.....	15
3.2. Контроль заряду й розряду акумуляторних батарей з використанням лічильника електрики.....	24
3.3 Пристрій контролю зарядки акумуляторних батарей.....	30
3.4 Пристрій контролю й відновлення рівня електроліту	32
ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

В результаті інтенсивного підйому загального технічного рівня транспортних засобів у світі, до міського електротранспорту стали пред'являти більш високі вимоги відносно динаміки, експлуатаційної надійності, безпеки, комфортабельності та ін. Це безпосередньо пов'язане з підвищенням культури обслуговування й скороченням часу доставки пасажирів. Особливо істотні зміни в електроустаткуванні тролейбусів і трамвайних вагонів, найтіснішим образом пов'язані з розвитком загальної електротехніки, електроніки й автоматики, особливо мікропроцесорної техніки. Удосконалюється тиристорно-імпульсна й створюється транзисторна системи керування тяговим двигуном, що дозволяють підвищити надійність електроустаткування, збільшити провізну спроможність транспорту й знизити експлуатаційні витрати. Подальше вдосконалювання одержали й системи живлення низьковольтної мережі тролейбусів, де генератори постійного струму замінені генераторами змінного струму із вбудованими випрямними блоками, а вібраційні реле-регулятори – релейно-напівпровідниковими або безконтактними. В останні роки замість електромашинних та тиристорних перетворювачів напруги для низьковольтних систем живлення використовуються транзисторні на основі новітніх досягнень науки і техніки.

Однак, як показує досвід експлуатації тролейбусів їх надійність ще не відповідає необхідному рівню, особливо низький рівень працездатності елементів електроустаткування деяких типів тролейбусів, зокрема з тяговими двигунами й апаратами, виготовленими на Україні.

Метою даної роботи є дослідження й розробка організаційно-технічних заходів підвищення надійності електроустаткування тролейбусів, у першу чергу низьковольтних систем живлення тролейбусів за рахунок впровадження систем діагностування.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ

Низьковольтні системи живлення троллейбусів використовуються для живлення апаратів, приладів та електричних схем систем керування тяговим двигуном, сигналізації, освітлення, дверей та іншим обладнанням з номінальною напругою 24 В [2-4].

Структуру низьковольтних систем живлення троллейбусів представлено на рисунку 1.1. До складу класичних низьковольтних систем живлення троллейбусів входять акумуляторні батареї, генератор, електричний двигун приводу генератора (рис. 1.1а). Стабілізація напруги в таких системах забезпечується реле-регуляторами.

На троллейбусах нового покоління замість електромашинного перетворювача використовують електронні, в основному, транзисторні перетворювачі, в яких відсутня ланка перетворення електричної енергії в механічну і навпаки, що забезпечує більш високу надійність та к.к.д. Структура низьковольтних систем живлення троллейбусів такого типу представлено на рис. 1.1б.

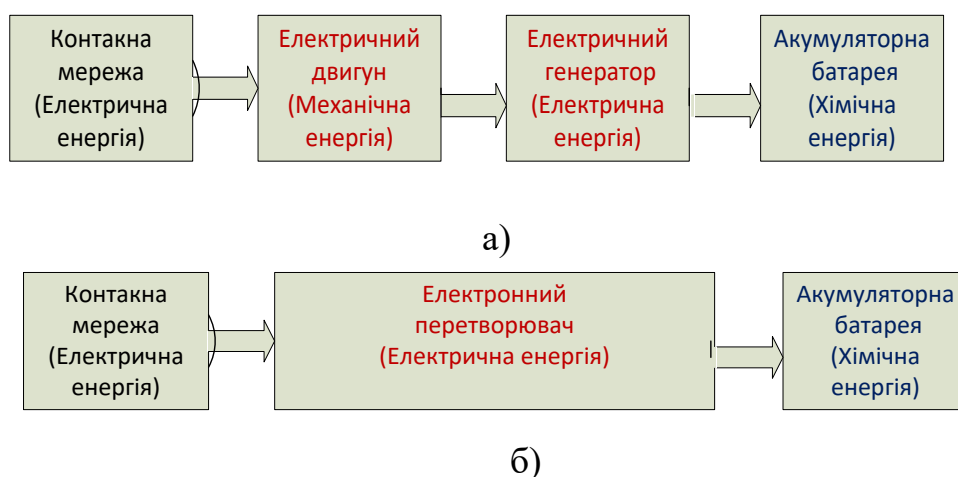


Рис. 1.1 – Структура низьковольтних систем живлення троллейбусів

Низьковольтні системи живлення троллейбусів комплектуються генераторами потужністю від 1,2 кВт (Г-732) до 3,6 кВт (Г-263), або електронними перетворювачами - до 5 кВт та акумуляторними батареями ємністю 70 – 150 Аг.

В останні роки подальше вдосконалювання одержали вузли живлення низьковольтних кіл троллейбусів, де генератори постійного струму

заміняються генераторами змінного струму із вбудованими випрямними блоками, а вібраційні реле-регулятори – релейно-напівпровідниковими або безконтактними.

Основним недоліком вібраційних регуляторів напруги є наявність вібруючих контактів, які обмежують максимально допустиму силу струму збудження генератора, знижують надійність регулятора. Застосовувані способи зменшення розривної потужності контактів не усувають повністю перераховані недоліки, а лише дозволяють трохи розширити область застосування вібраційних регуляторів напруги.

Вібраційні регулятори напруги в процесі експлуатації вимагають систематичного регулювання, тому що елементом, що задає, є пружина, пружність якої залежить від умов експлуатації.

З ростом потужності генераторів і підвищенням їх довговічності питання про регулювання напруги придбали особливу гостроту.

У цей час розробляються, в основному, безконтактні регулятори напруги з використанням напівпровідникових приладів: діодів, тиристорів і транзисторів.

Основним реле-регулятором є РР-363. Реле-регулятор РР-363 призначений для роботи з генератором струму Г-263А, установлюваним на тролейбусах останніх випусків [2, 3]. Він виконує функцію автоматичної підтримки напруги низьковольтної мережі в заданих межах і здійснює автоматичний захист регульовального органа – транзистора в аварійному режимі при короткім замиканні клеми Ш (шунт) на корпус.

Реле-регулятор складається із двох блоків: релейного й транзисторного. У релейному блоці перебувають два електромагнітні елементи: регулятор напруги РН і реле захисту РЗ. У регулятора напруги дві пари контактів, з яких нижні, що замикають, забезпечують роботу регулятора напруги, а верхні, що розмикають, включені в коло реле захисту.

Реле захисту має одну пару замикаючих контактів. Рухомі контакти (контакт якоря) обох елементів РН і РЗ з'єднані між собою й виведені на затиск реле-регулятора.

Транзисторний блок містить транзистор, установлений на охолоджувачі, діод зворотного зв'язку діод, та гасящий діод. У кришці реле-

регулятора з боку блоку є жалюзі для поліпшення відводу тепла від транзистора.

Генератори змінного струму з електромагнітним збудженням у порівнянні з колекторними генераторами постійного струму простіше по конструкції, мають менші габарити й масу при тій же потужності, більш надійні й довговічні через відсутність колектора. Напруга генератора при зміні частоти обертання вала привода електродвигуна регулюється регулятором напруги.

Характеристика акумуляторних батарей рухомого складу

На всіх видах тролейбусів і трамвайних вагонів застосовуються лужні нікель-кадмієві акумуляторні батареї. Основні технічні дані акумуляторів наведені в табл. 1.1.

Акумуляторні батареї працюють у буферному режимі з генератором або перетворювачем напруги 600/28 В. Разом з генераторною установкою й реле-регулятором (перетворювачем) акумуляторні батареї становлять бортове низьковольтне джерело живлення для електричних кіл керування, сигналізації, освітлення й допоміжних кіл, у відповідності зі схемами рухомого складу [2-4].

На всіх типах рухомого складу акумуляторні елементи з'єднані послідовно. Акумуляторні елементи батарей 9НКЛБ-70 виконані в пластмасових корпусах, з якими з'єднані позитивні електроди [10].

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика акумуляторних батарей тролейбусів

Nпп/	Найменування параметрів	Розмірність	Тип тролейбусів		
			ЮМЗ	ДАК-217	ЗИУ-9
1	Тип батарей		9НКТ-100	9НК-125	9НКЛБ-70
2	Кількість на одній машині	шт.	2	2	2
3	Номінальна ємність	А.ГОД	110	125	70
4	Номінальна напруга	В	22, 5	22.5	22.5

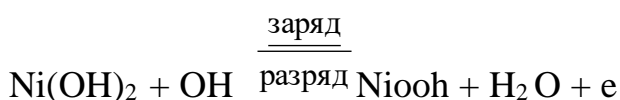
5	Кількість елементів	шт.	18	18	18
6	Номинальна напруга на елементі	В	1,25	1,25	1,25
7	Напруга заряду на один елемент	В	1,7-1,9	1,7-1,9	1,7-1,9
8	Кінцева напруга розряду на 1 елемент	В	1,0	1,0	1,0
9	Електроліт		Складовий	калієво-літєвий	
10	Густина електроліту	г/см ³	1,19-1,21	1,19-1,21	1,19-1,21
11	Рівень електроліту над верхнім краєм пластин		3-5	5-12	3-5
12	Напруга генератора	В	27	28	27
13	Вага комплекту	кг	90,0	123,2	70,4
14	Габарити батарей	мм	780*280	780*180	380*180

Активна маса негативних електродів складається із суміші порошкоподібного кадмію, заліза і їх окислів. Позитивний електрод нікель-кадмієвих акумуляторів виконаний з гідрату закису нікелю, змішаного із графітом. Графіт при цьому відіграє роль електропровідної добавки, його призначення - забезпечити підведення струму до певних зерен активної маси й додати їй необхідну електропровідність.

Конструкція позитивних і негативних електродів лужних акумуляторів - панельна (9НКЛБ-70).

Процеси на позитивному (окисно-нікелевому) електроді протікають у твердій фазі без переходів іонів нікелю в розчин. При анодній поляризації іони OH^- підходять до поверхні зерен $\text{Ni}(\text{OH})_2$ і віднімають у них електрон, перетворюючись у воду. Окиснюючись гідрат закису нікелю стає електропровідним.

Реакція на окисно-нікелевому електроді записується в такий спосіб:

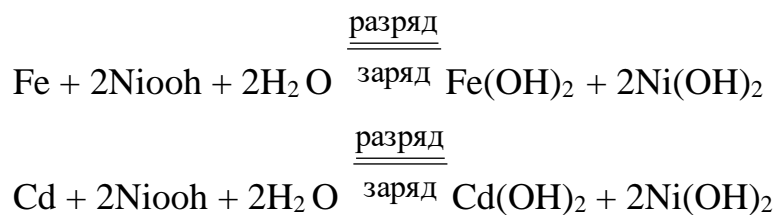


Використання струму при заряді негативного кадмієвого електрода досягає 85%. При цьому умові відновлення гідроокису кадмію відбувається швидше, чим електрод досягає потенціалу при цьому можливо виділення

водню на кадмії.

Додавання заліза до кадмію на негативному електроді сповільнює процес усадки кадмієвої активної маси при тривалій роботі акумулятора. Це залізо бере участь в електрохімічних процесах, що відбуваються в акумуляторі.

Отже, процеси, що протікають у лужних акумуляторах, зображуються рівняннями:



З реакцій випливає, що концентрація електроліту в процесі роботи акумулятора практично залишається постійно.

Це дозволяє зменшувати обсяг електроліту до мінімуму, причому не знижується електропровідність і електроліт не замерзає при будь-якому ступені заряду акумулятора.

2 ДІАГНОСТУВАННЯ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ НА РУХОМОМУ СКЛАДІ

Сутність дослідження, зокрема, діагностування низьковольтних систем живлення тролейбусів полягає в перевірці загального функціонування по величині напруги при різних навантаженні. Перевірка регулятора напруги (див. слайд 5) полягає в наступному: змінюючи напругу джерела й контролюючи струм, що протікає через реостат і регулятор напруги, і напруга джерела, судять про працездатність регулятора й характер несправності [2-12].

Розглянемо технологічний процес діагностування реле регулятора.

Можливі наступні стани:

а) регулятор забезпечує регулювання напруги генератора, тобто змінює струм обмотки збудження залежно від його режиму роботи, але при цьому регулятор може бути настроєний на різну напругу.

При справному регуляторі напруги струм через реостат і регулятор припиняється при досягненні величини напруги на джерелі, рівної напрузі регулювання. Якщо струм припиняється при іншій величині напруги, то регулятор забезпечує регулювання напруги генератора й вимагає настроювання на задану напругу.

б) регулятор не забезпечує регулювання напруги, при цьому він або завжди пропускає струм в обмотку збудження генератора й напруга останнього буде визначатися його навантаженням і частотою збудження ротора, або регулятор не пропускає струм в обмотку збудження генератора й генератор не збуджується.

Можливі три варіанти несправностей:

а) струм через реостат і регулятор напруги відсутній (при напрузі на вході менше напруги регулювання). Несправність може бути в кожному із трьох обладнань регулятора напруги.

Можливі стани схеми для даного варіанта:

- у виконавчому елементі (транзистор) – обрив у електричному колі колектор – емітер;
- коротке замикання в електричному колі і колектор – емітер транзистора.

Пошук зазначених несправностей можна вести, використовуючи різні критерії оцінки ефективності перевірок. Так, ґрунтуючись на статистичних даних відмов, які говорять про те, що частіше виходять із ладу вихідні транзистори, швидше можна знайти несправність, якщо перевірки проводити в послідовності, зворотній імовірності відмов елементів. Перевірку можна починати з контролю вимірювального обладнання реле, тобто стану S4.

Для проведення цієї перевірки необхідно встановити напругу на джерелі живлення менше напруги регулювання (12 В або 24 В). Одночасно можна перевірити стан S4. Наявність напруги в точках Д, Е, Ж свідчить про відсутність обриву в ланцюжках. Подальший пошук несправностей у підсилювальних елементах можна вести методом штучного внесення несправностей. Для цього потрібно випаяти зі схеми колектор транзистора V5 (точка Д) і подати на вхід схеми те ж напруга. Проходження струму через реостат свідчить про несправність транзистора.

б) Наявність струму через реостат і регулятор напруги при напрузі на

вході схеми більшому, ніж напруга регулювання.

Пошук несправностей проводять у наступному порядку:

На вхід схеми подають напругу від джерела живлення 24 В для пропонованого регулятора (12 В для регулятора РР 132). З'єднують між собою точки Д и З. Припинення струму в ланцюзі реостат - регулятор напруги свідчить про справність виконавчого елемента транзистора.

При зазначеній напрузі на вході схеми потенціали контрольних точок справного ланцюга наступні: $U_B=11,2\text{В}$; $U_V=7\text{В}$; $U_\Gamma=0,05\text{ В}$.

При обриві дроселя потенціали всіх точок будуть значно нижче: $U_B=0,9\text{ В}$; $U_V=0,6\text{ В}$; $U_\Gamma=0\text{ В}$.

Для перевірки омметром проміжних елементів діодів і транзисторів необхідно випаяти їх зі схеми.

Опір між виводами діодів і будь-якими виводами транзистора повинне бути більше нуля, але не більш 500 кОм, і змінюватися при зміні полярності підключення омметра.

в) Напруга регулювання більше або менше необхідного. Ця несправність пояснюється зміною параметрів елементів вимірювального обладнання. За цією методикою розробляються технологічні процеси й для інших типів реле-регуляторів.

Діагностування генераторної установки

Справна генераторна установка повинна забезпечувати позитивний баланс електроенергії при заданому рівні напруги, тобто забезпечувати заряд акумуляторної батареї й живлення всіх споживачів.

Залежно від режиму роботи генераторної установки, технічного стану акумуляторної батареї, числа включених споживачів можливі різні співвідношення між струмами генератора, батареї й навантаження (див. лист 7 графічної частини проекту):

- напруга генератора вище напруги акумуляторної батареї – відбувається заряд батареї й живлення споживачів від генератора $I_\Gamma=I_3+I_H$ – акумуляторна батарея не повністю заряджена;
- напруга генератора дорівнює напрузі акумуляторної батареї:

а) $I_\Gamma=I_H$ – цей режим при повністю зарядженої акумуляторної батареї, і $I_\Gamma \leq I_{\Gamma \text{ max}}$.

б) $I_n = I_g + I_{AB}$ – потужність генератора недостатня для живлення споживачів (включене максимально можливе число споживачів), частина потужності на споживачів іде від акумуляторної батареї, тобто акумуляторна батарея розряджається;

- напруга генератора менше напруги акумуляторної батареї, живлення всіх споживачів здійснюється тільки від батареї, $I_n = I_{AB}$ – генераторна установка несправна.

Послідовність перевірки генераторної установки наступна:

1. Подати живлення на двигун, установити середню частоту обертання: якщо стрілка амперметра через 1-5 хвилини встановилася на «0» - батарея заряджена. Генераторна установка справна; якщо амперметр показує зарядний струм – генераторна установка несправна.

2. Від'єднати проведення від клеми генератора й подати напруга в обмотку збудження від батареї: якщо з'явився зарядний струм – несправний регулятор напруги або сполучні проведення ланцюга збудження; якщо зарядного струму немає – несправний генератор, обривши в проведенні між генератором і акумуляторною батареєю.

3. Амперметр показує зарядний струм. Збільшити частоту обертання колінчатого вала: стрілка амперметра встановилася на постійні значення, показуючи зарядний струм – регулятор напруги підтримує напруга генератора на певному рівні, батарея може бути виряджена; показання амперметра збільшуються синхронно із частотою обертання колінчатого вала – регулятор напруги не регулює напруга генератора або настроєний на напругу значно вище номінального.

4. У процесі експлуатації простежити за величиною зарядного струму й рівнем електроліту акумуляторної батареї: якщо зарядний струм знизився до «0», рівень електроліту не вимагає коректування – акумуляторна батарея зарядилася, генераторна установка справна; якщо зарядний струм не зменшується, батарея «википає» - регулятор напруги настроєний на підвищену напругу.

Технологічний процес контролю акумуляторної батареї

Проводиться перевірка напруги на батареї, акумуляторному елементі, рівня і густини електроліту.

Акумуляторні батареї на тролейбусах лужні ємністю 70 - 100 А/год., служать для живлення електричних кіл напругою 24 В постійного струму.

Кількість елементів в акумуляторній батареї від 17 до 20 штук.

Банки акумуляторних батарей, що підлягають ремонту, промивають гарячою водою $t=70-80^{\circ}\text{C}$, корозію знімають гасом, просушують стисненим повітрям ($P=2\text{ атм}$).

Для захисту від корозії, банки змащують зовні технічним вазеліном, комплектують, заливають електролітом, рівень якого 15 або 25 мм над пластинами (залежно від типу батарей). густини електроліту влітку рівна $1,17 \div 1,19\text{ г/см}^3$, узимку – $1,21 \div 1,23\text{ г/см}^3$.

Акумуляторні батареї поміщають у шафу автоматичного зарядного обладнання. Зарядний струм дорівнює четвертої частини ємності батареї, час зарядки 5 годин.

Номінальна напруга кожного елемента 1,2 В, максимальна напруга – 1,4 В, різниця напруги елементів різних банок не більш 0,1 В.

Один раз у сім днів контролюється рівень електроліту акумуляторних батарей, один раз у два місяці контролюється густина електроліту. Після пробігу 16 тис. км акумуляторні батареї проходять технічне обслуговування й ремонт на акумуляторній ділянці.

3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

3.1 Прилад для виміру ємності акумуляторних батарей

Принцип роботи приладу заснований на замірі повного опору акумуляторних елементів на змінному струмі частотою 200 і 500 Гц. Структурна схема даного приладу представлена на рис. 3.1.

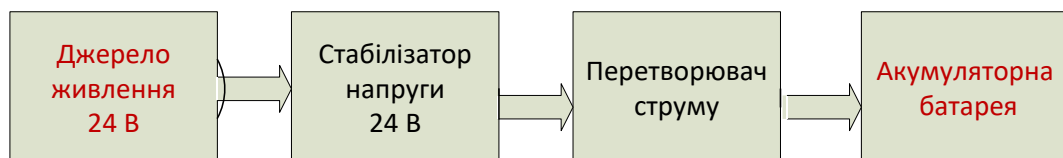


Рис. 3.1 – Структурна схема для виміру ємності і внутрішнього опору акумуляторних елементів

Живлення приладу здійснюється від акумуляторної батареї напругою 24 В. Напруга на виході приладу 8В частотою 200 і 500 Гц. При цьому загальний опір акумуляторного елемента буде виміряно на частотах 200 і 500 Гц, що дозволить визначити технічний стан елемента.

Для того щоб більш докладно розглянути принцип роботи даного приладу необхідно розглянути деякі процеси в акумуляторній батареї й побудувати схему заміщення.

Внутрішній опір акумулятора може бути підраховане за схемою, представленої на рис. 3.2.

Якщо зневажити провідністю шару електроліту під пластинам, то внутрішній опір складається з опору сепараторів, просочених електролітом і опору пластин

$$r_0 = r_c + r_{пл.}$$

опір сепараторів залежить від їхньої кількості й від пористості матеріалу, з якого вони виготовлені, обчислюється по формулі:

$$r = 4,5 * \frac{r_{\text{э}}}{n_c},$$

де $r_{\text{э}}$ - опір еквівалентного шару електроліту;

r_c - кількість сепараторів, рівне подвоєному числу позитивних пластин акумулятора.

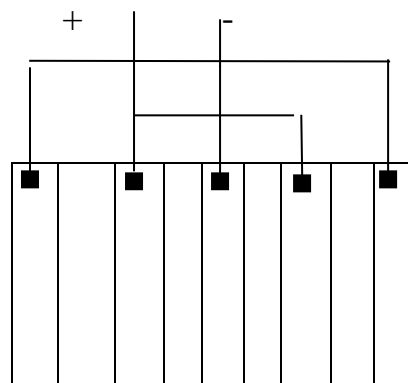


Рис. 3.2 – Схема розрахунків внутрішнього опору акумулятора

Опір еквівалентного, шару електроліту становить:

$$r_{\text{Э}} = \delta_{\text{С}} / (H * S_{\text{С}}),$$

де $\delta_{\text{С}}$ - товщина сепаратора;

H - питома електропровідність електроліту;

$S_{\text{С}}$ - площа бічної поверхні.

Опір пластин акумулятора визначається опором ґрат, бортів і інших металевих деталей. Однак аналіз даних, що були в літературі, показує, що опір пластин акумулятора орієнтовно становить половину його повного опору в зарядженому стані.

У такий спосіб маємо:

$$r_0 = 2 * r_{\text{С}} = \frac{9 * \delta_{\text{С}}}{n_{\text{С}} * H * S_{\text{С}}}$$

Викладені міркування дозволяють знайти залежність повного внутрішнього опору акумулятора від кількості пройденої через нього електрики.

Для оцінки частоти змінного струму, при яким параметри акумулятора можна вважати постійними, скористаємося співвідношенням для активної маси в позитивних пластинах:

$$m^+ = m_0^+ + R_{\text{Э}}^+ \int_0^t \frac{idt}{R_{\text{У}}},$$

де: m^+ - поточне значення активної маси в позитивних пластинах;

$R_{\text{Э}}^+$ - електричний еквівалент речовини активної маси;

$R_{\text{У}}$ = коефіцієнт використання активної маси, дорівнює відношенню фактичної ємності $Q_{\text{Ф}}$ до теоретичної $Q_{\text{Т}}$.

Зміною активної маси можна зневажити за умови:

$$m_0^+ \gg R_{\text{Э}}^+ \int_0^t \frac{idt}{R_{\text{У}}}.$$

Якщо вважати $k_{\text{и}}$ постійним і рівним середньому значенню $k_{\text{и порівн.}}$, то підставляючи вираження для змінного струму, одержимо:

$$i = I * \sin \cot,$$

і далі одержимо

$$m_0^+ \gg \frac{R_{\text{Э}}^+}{R_{\text{Усп}}} * \frac{I}{\omega} (1 - \cos \omega t).$$

Ця нерівність виконується при

$$\omega \gg 2R_{\text{Э}}^+ \frac{I}{(m_0 + k_{\text{Усп}})}$$

Враховуючи, що

$$Q_{\text{Ф}} = (m_0^+ k_{\text{Усп}}) / R_{\text{Э}}^+$$

де: $Q_{\text{Ф}}$ - фактична ємність акумулятора. Остаточо маємо:

$$\omega \gg \frac{2}{Q_{\text{Ф}}}.$$

Знаходимо змінну складову напруги на затисках акумулятора:

$$U = I_p + I_n + i * r_0$$

де: I_p - рівноважна ЕРС;

I_n - ЕДС поляризації;

i - струм;

r_0 - внутрішній опір акумулятора.

Рівноважна ЕДС I_p у всім діапазоні розрядних ємностей пов'язана з кількістю минулого через акумулятор електрики приблизно лінійно

$$I_p = I_0 + a_p \int_0^t i dt,$$

де I_0 – значення рівноважної ЕРС при $t = 0$;

a_p – коефіцієнт, що характеризує зміна рівноважної ЕРС при проходженні через акумулятор одиниці кількості електрики.

Це впливає з формули:

$$I_p = f(Q).$$

$$\text{де } Q = \int_0^t i dt.$$

ЕДС поляризації виражається рівнянням:

$$I_n = 0,052 \sqrt{\frac{D}{\pi}} * \frac{I(\tau)}{\sqrt{t - \tau}} d\tau,$$

де: D – коефіцієнт дифузії;

$I(\tau)$ - похідна функція, що залежить від закону зміни струму й площі поверхні роздягнула електрод-електроліт залежно від часу.

У підсумку для одержання передатної функції скористаємося проробленими розрахунками й одержимо рівняння для змінної, що залишає напруги:

$$U(t) = a_p \int_0^t i(t) dt - \frac{B}{2} \int \frac{i(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + i(t)r_0.$$

Застосовуючи перетворення Лапласа при нульових початкових умовах, одержуємо:

$$U(P) = \left(\frac{Q_p}{P} + \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{P}} + r_0 \right) * I(P).$$

Уважаючи вихідною величиною акумулятора напруга, а вхідний - струм, знаходимо передаточну функцію акумулятора:

$$W(P) = \frac{U(P)}{I(P)} = \frac{Q_p}{P} + \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{P}} +$$

Таким чином, акумулятор може бути представлено трьома паралельно з'єднаними ланками:

1) інтегруючою ланкою з передатною функцією

$$W_1(P) = \frac{Q_p}{P};$$

2) напівінтегруючою ланкою з передатною функцією:

$$W_2(P) = \frac{B\sqrt{\pi}}{\sqrt{P}};$$

3) безінтегруючою ланкою з передатною функцією

$$W_3(P) = r_0.$$

Передатна функція акумулятора може розглядатися як характеристичний опір. В операційній формі, замінюючи P на $j^*\omega$, одержимо для опору акумулятора вираження:

$$z(j\omega) = \frac{P}{j\omega} + \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{j\omega}} + r_0.$$

Перша складова в рівнянні відповідає опору електричного конденсатора без витoku ємністю:

$$C_p = \frac{3600}{a_p} = \frac{3600}{2 \cdot 10^{-3}} = 1,8 \cdot 10^6.$$

Враховуючи, що $a_p = 2 \cdot 10^{-3} \cdot V$,

де V - обсяг електроліту, л.

Вираження для другої складової збігається з вираженням для комплексного опору однорідною довжиною лінії в якій відсутні індуктивні опори й витік (довгий Гс-Кабель). Причому для Гс-Кабелю має місце співвідношення:

$$\frac{B \cdot V}{2} = \frac{U}{C}.$$

Третя складова характеристичного опору є чисто активною.

Для визначення ємності подвійного електричного шару, якої мають ієрархічні границі, у схему заміщення акумулятора вводиться зосереджена ємність рівна

$$C_{дв.с} = 3 \cdot K_{дв.с}.$$

де $K_{дв.с}$ - коефіцієнт пропорційності.

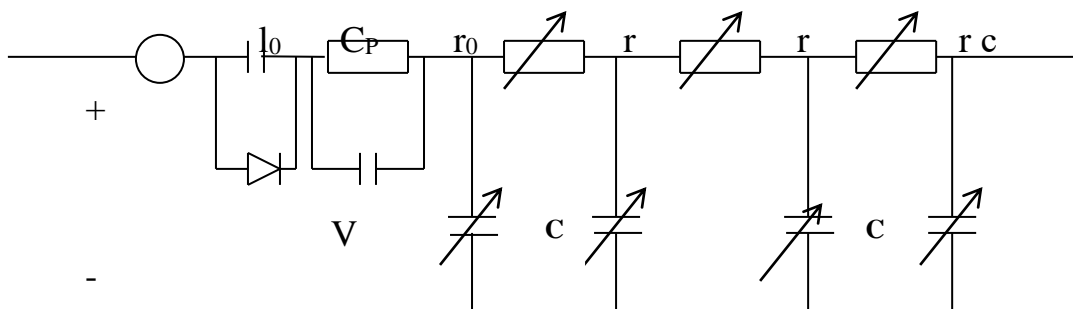


Рис. 3.3 – Еквівалентна схема заміщення акумулятора

Зміні рівноважної ЕРС акумулятора відповідає зміна величини заряду конденсатора C_p . Діод V обмежує рівноважну ЕРС при заряді величиною I_0 . Опір r_0 еквівалентно внутрішньому активному опору акумулятора, а конденсатор $C_{дв.с}$ включений у схему для визначення ємності подвійного шару.

Схема заміщення, представлена на мал. 3.4, досить точно відбиває основні процеси, що відбуваються в акумуляторі, але приводить до математичних труднощів при аналізі, що пов'язане з наявністю в схемі довгого r_0 кабелю. Для спрощення аналізу користуються наближеною схемою заміщення представленої на мал. 3.14.

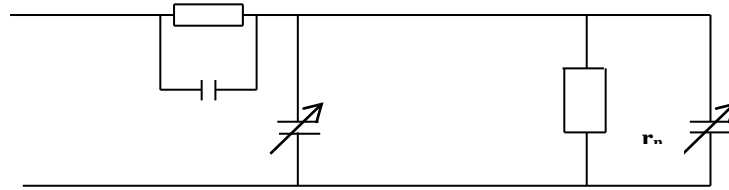


Рис. 3.4 – Наближена еквівалентна схема заміщення акумулятора.

У цій схемі концентралізаційна поляризація електродів моделюється ланцюжком з паралельно з'єднаних опору r_n і конденсатора C_n .

Параметри r_n і C_n є змінними.

$$r_n = R_n \left(1 + \frac{k_3^+}{m_0^+} * \int_0^t \frac{idt}{k_u} \right)^{-1}$$

$$c_n = C_n \left(1 + \frac{k_3^+}{m_0^+} * \int_0^t \frac{idt}{k_u} \right)^{-1}.$$

Враховуючи, що акумулятор працює в інтервалі частот $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$, що задовольняють умові:

$$\omega \gg \frac{2 * I}{Q_\Phi},$$

те параметри схеми заміщення будуть постійними $r_n = R_n$ і $c_n = C_n$ і значення їх дуже малі.

Подальшим спрощенням схеми є зневага ємністю подвійного шару $C_{дв.с}$ оскільки кількість електрики, що запасається нею, мало в порівнянні з електрохімічною ємністю акумулятора C_p . Отримана схема заміщення (мал. 3.5). використовується при аналізі процесів в акумуляторній батареї.

Використовуючи спрощену схему заміщення, загальний опір акумуляторного елемента буде:

$$Z = \frac{r_0 * X_{C_0}}{r_0 + X_{C_0}},$$

де X_{C_0} - ємнісний опір акумуляторного елемента,

Тому що внутрішній опір чисто активний і не залежить від частоти, то загальний опір при зміні частоти $f_1 = 200$ Гц і $f_2 = 500$ Гц буде визначатися

тільки ємністю Z_0 . Отже, при першому й другому вимірі на частотах f_1 і f_2 маємо:

$$Z_1 = \frac{r_0 * X_{C1}}{r_0 + X_{C1}}$$

$$Z_2 = \frac{r_0 * X_{C2}}{r_0 + X_{C2}}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f_1 C_0}$$

де:

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f_2 C_0}$$

Виразимо з даного вираження Z_0 , для цього виконаємо перетворення:

$$\begin{cases} Z_1(r_0 + X_{C1}) = r_0 X_{C1} \\ Z_2(r_0 + X_{C2}) = r_0 X_{C2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_1 r_0 + Z_1 X_{C1} = r_0 X_{C1} \\ Z_2 r_0 + Z_2 X_{C2} = r_0 X_{C2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_1 X_{C1} = r_0 X_{C1} - Z_1 r_0 \\ Z_2 X_{C2} = r_0 X_{C2} - Z_2 r_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_1 X_{C1} = r_0 (X_{C1} - Z_1) \\ Z_2 X_{C2} = r_0 (X_{C2} - Z_2) \end{cases}$$

$$\frac{Z_1 X_{C1}}{Z_2 X_{C2}} = \frac{X_{C1} - Z_1}{X_{C2} - Z_2}$$

$$Z_1 X_{C1} (X_{C2} - Z_2) = Z_2 X_{C2} (X_{C1} - Z_1)$$

$$Z_1 X_{C1} X_{C2} - Z_1 Z_2 X_{C1} = Z_2 X_{C1} X_{C2} - Z_1 Z_2 X_{C2}$$

Підготуємо значення X_{C1} і X_{C2} одержимо:

$$Z_1 \frac{1}{2\pi f_1 C_0} * \frac{1}{2\pi f_2 C_0} - Z_1 Z_2 \frac{1}{2\pi f_1 C_0} = Z_2 \frac{1}{2\pi f_1 C_0} * \frac{1}{2\pi f_2 C_0} - Z_1 Z_2 \frac{1}{2\pi f_2 C_0}$$

Помножимо обидві частини на $2\pi C_0$:

$$\frac{Z_1}{2\pi f_1 f_2 C_0} - \frac{Z_1 Z_2}{f_1} = \frac{Z_2}{2\pi f_1 f_2 C_0} - \frac{Z_1 Z_2}{f_2}$$

$$\frac{Z_1}{2\pi f_1 f_2 C_0} - \frac{Z_2}{2\pi f_1 f_2 C_0} = \frac{Z_1 Z_2}{f_1} - \frac{Z_1 Z_2}{f_2}$$

$$\frac{1}{2\pi f_1 f_2 C_0} (Z_1 - Z_2) = \frac{Z_1 Z_2}{f_1} - \frac{Z_1 Z_2}{f_2},$$

$$C_0 = \frac{(Z_1 Z_2 f_2 - Z_1 Z_2 f_1) 2\pi Z_1 f_1 f_2}{f_1 f_2 (Z_1 - Z_2)} = 2\pi \frac{Z_1 Z_2 (f_1 - f_2)}{Z_1 - Z_2}.$$

Тому що значення $f_1 = 200$ Гц, а $f_2 = 500$ Гц, те $f_2 - f_1 = 500 - 200 = 300$ Гц.

Підставивши це значення й значення 2π , одержимо наступне вираження:

$$C_0 = 2 * 3,14 * 300 * \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 - Z_2} = 1260 * \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 - Z_2}.$$

Тепер виразимо r_0 з рівняння

$$Z_1 r_0 + Z_1 X_{C1} = r_0 X_{C1}$$

$$Z_1 r_0 - r_0 X_{C1} = -Z_1 X_{C1}$$

$$r_0 = -\frac{Z_1 X_{C1}}{Z_1 - X_{C1}} = \frac{Z_1 X_{C1}}{X_{C1} - Z_1}$$

$$r_0 = \frac{\frac{1}{2\pi f_1 C_0} Z_1}{\frac{1}{2\pi f_1 C_0} - Z_1} = \frac{Z_1}{1 - Z_1 2\pi f_1 C_0} = \frac{Z_1}{1 - 2\pi f_1 Z_1 C_0}.$$

Таким чином, вимірявши повний опір акумуляторної батареї на частоті змінного струму $f_1 = 200$ Гц і $f_2 = 500$ можемо визначити внутрішній опір і ємність елемента.

3.2. Контроль заряду й розряду акумуляторних батарей з використанням лічильника електрики

З метою визначення технічного стану акумуляторних батарей під час заряду й розряду на акумуляторній ділянці, тобто під час тренувальних циклів пропонується впровадити лічильник ампер-годин. Застосування такого лічильника по співвідношенню повідомленого акумуляторної батареї кількості електрики й отриманого при розряді дозволяє судити про фактичну ємність акумуляторної батареї. Для акумуляторної ділянки тролейбусного депо м. Харкова пропонується використовувати лічильник типу Х602А, підключивши його до зарядних обладнань. [9-14]

Лічильник ампер-годин Х602А призначений для обліку кількості електрики (ампер-годин), що витрачається акумуляторною батареєю при розряді. Він працює від зовнішнього шунта, що включається в ланцюг контрольованої батареї.

Пропонований лічильник може працювати в умовах вибухонебезпечних по пилу й газу, при температурі навколишнього середовища від мінус 5 до плюс 35° С и відносної вологості повітря до 98%, причому й в умовах тропіків. По цьому його й доцільно впровадити в депо.

Лічильник Х602А випускається у двох модифікаціях -ємністю 650 А- і 1300 А-, що працюють від зовнішніх шунтів типу 75ШС — відповідно на 150 і 300 А.

Основна погрішність лічильника $\pm 4\%$ від довжини шкали (ємності обліку).

Додаткова погрішність лічильника, викликана відхиленням температури навколишнього середовища від температури $20\pm 5^\circ\text{C}$ до кожної в межах робочих температур, не перевищує $\pm 4\%$ від довжини шкали на кожні 10°C зміни температури.

Поріг чутливості. Лічильник починає змінювати свої показання при силі струму в ланцюзі шунта: 2 А - для лічильника ємністю 650 А-год; 4 А — для лічильника ємністю 1300 А-год.

Величина напруги, що харчує допоміжні ланцюги лічильника рівна 24В, а величина напруги допоміжного джерела живлення для коректування положення показчика рівна $1,25 \pm 0,25\text{A}$. Потужність, споживана лічильником для живлення допоміжних кіл не перевищує 1,5 Вт. Маса лічильника — не більш 2 кг.

Вимірювальним механізмом лічильника служить водневий електролітичний елемент (кулонметр), зображений на рис. 3.16.

При проходженні електричного струму через елемент на його катоді відбувається виділення, а одночасно на аноді — поглинання водню, У результаті змінюється різниця тисків водню в приелектродних газових просторах елемента. Це приводить до зміни висоти стовпа рідини в трубці 3 і, відповідно, — до зміни положення показчика щодо шкали лічильника.

Кількість перенесеного водню, а отже, і величина переміщення показчика — пропорційні кількості електрики (ампер-годин), що протік у ланцюзі контрольованої акумуляторної батареї.

При розряді батареї в елементі катодом є електрод 1, а анодом — електрод 5, тому при розряді показчик лічильника переміщується вниз. При

заряді напрямом струму в ланцюзі батареї змінюється; відповідно, змінюються полярність електродів елемента й напрямок руху покажчика. При досягненні покажчиком нульової оцінки шкали контакти елемента замикаються електролітом. Після цього електроди й контакти елемента шунтуються (рис.3.16),

При розряді батареї в елементі катодом є електрод 1, а анодом — електрод 5, тому при розряді покажчик лічильника переміщається вниз. При заряді напрямом струму в ланцюзі батареї змінюється; відповідно, змінюються полярність електродів елемента й напрямок руху покажчика. При досягненні покажчиком нульової оцінки шкали контакти елемента замикаються електролітом. Після цього електроди й контакти елемента шунтуються (рис.3.6),

через що припиняється рух покажчика. Заряд батареї при не кінчається, тому що акумуляторна батарея повинна при заряді одержати

більше кількості електрики, чому вона віддає при розряді.

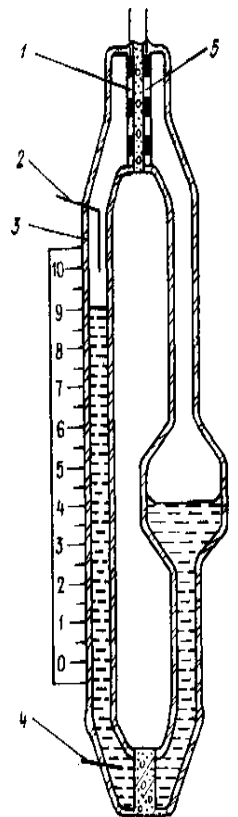
Для живлення електричної схеми лічильника на його затиски 1 і 2 подається напруга постійного струму.

Зовнішній шунт підключається до затисків 2 і 3. Коректування положення покажчика в лічильнику здійснюється при підключенні до затисків 4 і 5 допоміжного джерела постійного струму.

Корпус лічильника складається із цоколя й кришки, виконаних з дугостійкої пластмаси. Місця з'єднання цоколя й оглядового скла із кришкою герметизовані.

Лічильник слід з'єднувати із шунтом за допомогою каліброваних проводів, що поставляються в комплекті з лічильником.

Рис. 3.6. Електролітичний елемент



З'єднання повинне забезпечити подачу негативного потенціалу на затиск лічильника 2, а позитивний на затиск 3 — при розряді батареї. При заряді полярність на затисках буде зворотною.

Якщо при монтажі лічильник підключають до вже зарядженої батареї, то показчик лічильника слід попередньо встановити на нульову оцінку.

Для цього на затиски 4 і 5 лічильника слід подати напруга 1 – 1,5 В від допоміжного джерела живлення, зокрема.

Під час заряду сила струму в ланцюзі акумуляторної батареї повинна бути не менш, чим 40% від номінальної сили струму шунта, відповідно, при цьому спадання напруги на шунті повинне бути не менш 30 мВ.

Напруга живлення допоміжних ланцюгів лічильника при заряді повинне бути 24+6 В. У ході заряду показчик автоматично встановлюється на нульову оцінку шкали ще до закінчення заряду.

Забороняється::

- експлуатувати лічильник при відключеній напрузі живлення 24 в;
- підключати лічильник до шунта некаліброваними проводами;
- підключати калібровані проведення без пружинних шайб;

Потім слід змінити полярність на затисках 2 і 3 і подавати напруга 75 мВ протягом 4 год 20 хв або напруга 150 мВ протягом 2 год 10 хв,

Після цього визначити відстань показчика до кінцевої оцінки шкали, Величина цієї відстані в міліметрах чисельно дорівнює основної погрішності лічильника у відсотках від довжини шкали (межі виміру),

При визначенні основної погрішності подавана напруга повинна вимірюватися на кінцях підключених до лічильника каліброваних проводів.

Якщо у випадку неправильної експлуатації лічильника у вимірювальній трубці не виявиться рідини або трубка буде повністю заповнена нею, то на затиски 4 і 5 слід подавати напруга 1 — 1,5 А від допоміжного джерела живлення.

При цьому якщо в трубці не було рідини, то на затиск 4 слід подавати позитивний, а на затиск 5 — негативний потенціал. Якщо трубка повністю заповнена рідиною, то полярність повинна бути зворотною.

Таким чином, застосування зазначеного лічильника дозволить підвищити надійність роботи акумуляторних батарей і в цілому й тролейбусів.

Технічний стан лужних акумуляторних батарей, установлених на тролейбусах, характеризуються наступними параметрами:

- напруга акумулятора U_a , В;
- напруга батареї U_b , В;
- щільність електроліту J , г/см³;
- рівнем електроліту над пластинами h_z , мм.

Важливим параметром технічного стану лужних акумуляторних батарей є рівень карбонатів в електроліті, які утворюються внаслідок поглинання вуглекислоти з повітря. З їхнім ростом ємність акумуляторів знижується.

Значення u_a визначають при підключенні акумулятора до зовнішнього навантаження, різного 0,08 Ом. При визначенні u_b остання рівна 1,44 Ом.

При поглибленім діагностуванні АКБ вимірюють u_a на кожному акумуляторі, а потім u_b батареї в цілому. У процесі ТЕ здійснюють контроль тільки u_b , а у випадку, якщо воно менше припустимого значення, роблять вимір u_a .

Тому що в АКБ тролейбуса входить 18 акумуляторів, а причиною низького u_b буває нерідко недостатня ємність одного з них, то пошук несправного акумулятора при експрес - діагностуванні здійснюють шляхом послідовного розподілу батареї на дві групи акумуляторів з роздільним виміром ступеня зарядженості кожної групи аж до пошуку акумулятора відновлення, що вимагає.

3.3 Пристрій контролю зарядки акумуляторних батарей

У НДКТІ МГ розроблене обладнання контролю зарядки акумуляторів типу УКЗА, що дозволяє контролювати параметри u_a і u_b (рис. 3.17). Дане обладнання рекомендується для виготовлення й використання в тролейбусному депо м. Харкова. Обладнання має корпус 4, у яким установлений мілівольтметр 5, резистори 2 і 3. До корпусу жорстко прикріплені контактні ніжки 1 і 9 напруги, що *служать для виміру, акумулятора u_a* . При вимірі напруги батареї u_b з ручки 6 обладнання виймають рухому контактну ніжку 8 м гнучким шнуром 7. У процесі вимірів на один кінець батареї встановлюють ніжку 1, а на іншій — ніжку 8.

Для виміру густини електроліту в тролейбусні депо використовують обладнання загальнопромислового виготовлення – денсиметр.

Параметром АКБ, що змінюється найбільшою мірою й для керування значенням якого потрібна значна частина загального часу, затрачуваного на контроль технічного стану АКБ, є рівень електроліту.

При підзарядці АКБ на тролейбусі відбувається розкладання водних компонентів електроліту на водень і кисень, що є основною причиною зниження рівня електроліту. Цей процес відбувається особливо інтенсивно при таких значенні струму, коли зарядка акумулятора вже припиняється й споживаний струм іде на газовиділення. Така сила зарядного струму складає 1,3 % номінальної ємності батареї при напрузі заряду 1,56 В на акумулятор.

Швидкість зниження рівня електроліту залежить від струму, що йде на газовиділення, що і є у свою чергу функцією параметрів АКБ генератора й реле-регулятора. Темп зниження рівня електроліту носить випадковий характер. Це підтверджене перевіркою результатів підконтрольної експлуатації протягом 5 мес партії АКБ вітчизняного й чехословацького виробництва на тролейбусах типу «Шкода». Установлене, що математичне очікування швидкості зниження рівня електроліту становить $1,0062 \cdot 10^{-2}$ мм/км при середньому квадратичнім відхиленні $0,2449 \cdot 10^{-2}$ мм/км.

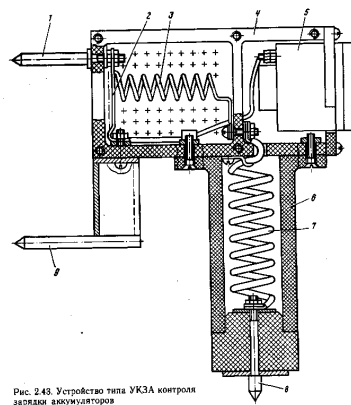


Рис. 3.7 – Пристрій типу УКЗА контролю зарядки акумуляторів

Оптимальна періодичність контролю рівня електроліту за критерієм мінімуму питомих втрат, склала 11-14 діб. При цьому, наприклад, на тролейбусах Тр-9 і Тр-14 у середньому 15 % акумуляторів потребують поповнення рівня електроліту. Часте доливання електроліту АКБ при їх обслуговуванні свідчить про необхідність розробки спеціальних пристроїв.

3.4 Пристрій контролю й відновлення рівня електроліту

У НДКТІ МГ також розроблено пристрій контролю й відновлення рівня електроліту типу УДА-М. Воно представляє переносний прилад, виконаний у вигляді пістолета.

Пристрій (рис. 3.8) складається із пластмасового корпуса 4, до якого прикріплені фторопластів а я вставка 10, штанцер 5, ручка 7, кронштейн 1 з міліамперметром 2 і упори 9. Усередину корпуса 4 вставлена гумова штейн 1 з міліамперметром 2 і упори 9. У середині корпуса 4 вставлена гумова трубка 3, яка пережимається штоком 8, підгорнутим пружиною 6 через ручку 7. На вставці 10 закріплений мідний провідник 11.

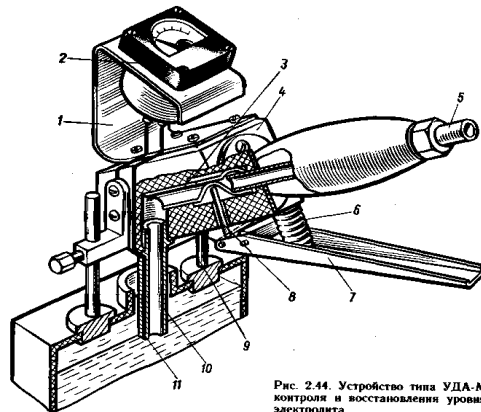


Рис. 2.44. Устрій типу УДА-М контролю й відновлення рівня електроліту

Рис. 3.8. Пристрій типу УДА-М контролю й відновлення рівня електроліту

Працює обладнання в такий спосіб. Штуцер підключають гнучким шлангом до ємності з електролітом (водою). Вставку 10 спускають у банку акумуляторної батареї, упори 9 опираються на затискні пластини акумулятора. Натискають ручку 7, і рідина через гумову трубку 3 і отвір у вставці 10 надходить в акумуляторну батарею.

По досягненню рівня, при якому електроліт в акумуляторній банці починає контактувати із провідником 11, відхиляється стрілка міліамперметра 2. Це служить сигналом для опускання ручки 7 і припинення подачі рідини.

Запропоновані технічні засоби контролю параметрів акумуляторних батарей забезпечують можливість підвищити надійність низьковольтних систем живлення рухомого складу.

ВИСНОВОК

Питання підвищення ефективності експлуатації рухомого состава міського електротранспорту нерозривно пов'язані з удосконалюванням виробничої бази транспортних підприємств, підвищенням рівня безпеки перевезення пасажирів, створенням безпечних умов проведення робіт, з розв'язком низки соціальних питань.

Важливе місце в удосконалюванні організації виробництва, впровадженні новітніх технологій і технічних засобів займають питання підвищення надійності рухомого складу, зокрема електроустаткування, яке може бути досягнуте за рахунок реконструкції діючих електротранспортних підприємств, тобто впровадження засобів механізації, автоматизації й діагностування

В роботі також запропоновано спеціальні пристрої та прилади для діагностування низьковольтних систем живлення, зокрема акумуляторних батарей.

Це. технічні засоби контролю акумуляторних батарей:

- прилад для виміру ємності акумуляторних батарей;
- лічильник електрики для контролю заряду й розряду акумуляторних батарей;
- пристрій контролю зарядки акумуляторних батарей;
- пристрій контролю й відновлення рівня електроліту.

Вони можуть бути рекомендовані для впровадження у виробництво і для виконання лабораторних робіт на кафедрі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про міський електричний транспорт».
2. Тролейбус ЛАЗ. Настанова з експлуатації. Львів. ЛАЗ, 2010. 325 с.
3. Тролейбус ПМЗ Т2. Настанова з експлуатації. Дніпропетровськ. ПМЗ, 2005. 432 с.
4. Правила експлуатації трамвая та троллейбуса. Затв. наказом Держжитлокомунгоспу України №103 від 10.12.96 р. Зареєстровано в Мініюсті України №66/1870 від 16.03.97 р. Введено в дію з 16.03.97. К.: Держжитлокомунгосп, 1997. 104 с. Опубл. 15.06.199418.
5. Вишник Г. В. и др. Троллейбус пассажирский ЗиУ 682Б. М.: Транспорт, 1977. 208 с.
6. Сменова Л. В. Спосіб виявлення неполадок в тягових акумуляторних батареях. *Збірник матеріалів конференції: Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації*. Кременчук, 2013. с. 157.
7. Патент України *u201211848* Спосіб виявлення неполадок в акумуляторних батареях / Гузов Е. С., Сінчук І. О., Петриченко А. А., Сменова Л. В. Опубліковано 27. 05. 2013.
8. Веклич В.Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов. М.: Транспорт, 1990. 295 с.
9. Далека В. Х., Будниченко В. Б., Карпушин Е. І., Коваленко В. І. Технічна експлуатація міського електричного транспорту: навч.посібник. Харк. нац.ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. ХНУМГ, 2014. 236 с.
10. Синчук О. Н., Захаров В. Ю., Сменова Л. В. Теоретические аспекты построения структуры системы мониторинга состояния электрических приводов тяговых электротехнических комплексов. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, 2013. № 36(1009), С. 142-145.
11. Основи електричної тяги: навч. посіб. / В. Х. Далека, П.М. Пушков, В. П. Андрійченко, Ю. В. Мінеєва; Харк. нац. академія міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2012.-312 с.

12. Далека В. Х., Нем В. К., Скуріхін В. І. Електропостачання електричного транспорту: навч. посіб. Харк. нац. академія міськ. госп-ва. ХНАМГ, 2012. 168 с.
13. ДСТУ UN/ECE R 36-03:2005. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів великої місткості стосовно їхньої загальної конструкції (UN/ECE R 36-03:2002, IDT).
14. ДСТУ 4905:2008. Колісні транспортні засоби. Тролейбуси пасажирські. Загальні технічні вимоги.
15. Драчев Г. Г. Аккумуляторы подвижного состава. М.: Транспорт, 1970. 160 с.
16. Батареи аккумуляторные 9НКЛБ – 70. Инструкция по эксплуатации. Саратов: 1987. 20 с.
17. Волков А. М., Эйгель Ф. И. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей. М., Связь, 1975. 120 с.
18. Зорохович А. Е., Бальский В. П., Эйгель Ф. И. Устройство для заряда и разряда аккумуляторных батарей. М., Энергия, 1976. 116 с.
19. Далека В. Х., Коваленко В. І, Будниченко В. Б., Хворост М. В. Практикум з технічної експлуатації міського електричного транспорту: навчальний посібник для студентів 4-6 курсів усіх форм навчання за напрямом підготовки 0922 (6.050702) «Електромеханіка». Харків. ХНУМГ, 2013. 194 с.