

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
КАФЕДРА «АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ»

РЕШЕТНЯК СЕРГІЙ РОМАНОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СВИНЦЕВОГО АКУМУЛЯТОРА
ПРИ ВАЖКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА
РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗАРЯДУ

Автореферат кваліфікаційної роботи
на отримання ступеня магістра за фахом
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

КРАМАТОРСЬК 2019

Автореферат є рукописом.

Робота виконана на кафедрі автоматизації виробничих процесів
Донбаської державної машинобудівної академії.

Науковий керівник

к.т.н., доцент

Сердюк Олександр Олександрович

Донбаської державної

Машинобудівної академії

Захист кваліфікаційної бакалаврської роботи відбудеться 17 грудня
2019 року на засіданні спеціалізованої вченій комісії у Донбаській державній
машинобудівній академії.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Викликана ненадійністю роботи свинцево-кислотного акумулятора в автомобілі. Ненадійність характеризується малим терміном експлуатації, який зазвичай навіть не перевищує гарантійного (2-3 роки), та низькою безвідмовністю роботи для розрахункового періоду експлуатації – до 3,7%.

Зв'язок роботи з науковими темами. Дослідження з теми кваліфікаційної магістерської роботи виконувались відповідно з науково-дослідницькою тематикою кафедри «Автоматизація виробничих процесів» Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА).

Мета роботи. Збільшення строку експлуатації та безвідмовності роботи акумулятора при важких умовах експлуатації шляхом дослідження методики імпульсного заряду та розробки системи контролю і управління процесом заряду.

Об'єкт дослідження. Процес зарядки автомобільного акумулятора.

Предмет дослідження. Система контролю і управління процесом заряду акумулятора.

Наукова новизна. Полягає у тому, що у роботі вперше запропоновано використання такого імпульсного заряду, у якому амплітуда залежить від опору поляризації, а тривалість імпульсу обмежується моментом досягнення максимуму похідної напруги.

Практичне значення отриманих результатів. полягає в розробці системи контролю і управління процесом заряду, яка відрізняється від класичного регулятора напруги тим, що має мікропроцесорне управління, завдяки чому заряджатиме автомобільний акумулятор за запропонованим імпульсним алгоритмом, що дозволить збільшити термін експлуатації та безвідмовність роботи.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях у

Харкові (Харківський національний автомобільно-дорожній університет та Харківський національний університет радіоелектроніки, де було отримано третє місце, березень-квітень 2019).

Публікації. За матеріалами роботи опублікована стаття в науково-технічний збірник «Вісник ДДМА» (2018 р., №1).

Структура роботи. Магістерська робота складається з вступу, 6 розділів, висновків, додатка і переліка посилань, який складається з 50 найменувань. Розрахунково-пояснювальна записка містить: сторінок - 124; рисунків - 76; таблиць - 4.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дипломної роботи, сформульована мета і задачі дослідження, викладена наукова новизна і практичне значення.

У першому розділі аналізуються конструктивні особливості сучасних свинцево-кислотних акумуляторів, проводиться аналіз умов та проблем, що виникають при експлуатації акумуляторів в автомобілі, аналіз сучасних рішень цих проблем та їх недоліки, встановлюються цілі на дослідження і проектування.

Основна проблема заряду зі стандартним регулятором – постійна напруга зарядки. Як відомо, кінцева напруга зарядки свинцевого акумулятора залежить від температури. Насправді, це обумовлено залежністю внутрішнього опору акумулятора від температури. Він складається з омичного опору електродів, електроліту, сепараторів, допоміжних струмоведучих деталей та опору поляризації, який з'являється внаслідок змін електродних потенціалів при проходженні електричного струму.

Тому взимку акумулятор в автомобілі недозаряджається та сульфатується, а влітку перезаряджається і кипить при постійній напрузі

бортової мережі автомобіля. Обидва випадки призводять до скорочення строку експлуатації і руйнування пластин акумулятора.

Для вирішення цієї проблеми існують регулятори напруги з функцією перемикання режимів (бувають регулятори на два і три режими) і регулятори напруги з контролем температури і плавним регулюванням напруги.

Регулятор з термокомпенсацією має похибку регулювання, тому що датчик фіксує фактичне значення температури повітря під капотом а не температуру самого електроліту. Для цього варто було б встановити датчик всередину акумулятора, що є неможливим.

Проблема попередніх технічних рішень полягає в тому, що напруга генератора залишається постійною під час всього циклу заряду. У цьому випадку струм заряду обмежується лише внутрішнім опором акумулятора. Наприкінці зарядного циклу відбувається електроліз води, а збільшення концентрації електроліту призводить до корозії електродів і руйнування пластин. При розрядженому акумуляторі початковий струм досягає величини 20 - 50А, що також, згубно впливає на намазку і пластини акумулятора.

Головна мета роботи – підвищення надійності свинцево-кислотного акумулятору в важких умовах експлуатації, тобто підвищення терміну служби та безвідмовності роботи. Дана мета досягається шляхом виконання наступних завдань:

- провести аналіз недоліків класичних методів зарядки;
- провести аналіз імпульсного методу зарядки;
- створення стенду для дослідження імпульсного зарядки;
- дослідження імпульсного заряду в функції струму;
- розробка алгоритму зарядки на основі отриманих даних;
- розробка автоматизованої системи контролю заряду, яка дозволить вести автоматичну зарядку батареї в функції струму за запропонованим алгоритмом;
- за допомогою розробленої системи збільшити експлуатаційні характеристики акумулятора за рахунок контролю недозарядження при

мінусових температурах і недопущення перезарядження при підвищених температурах.

У другому розділі аналізуються сучасні методи імпульсного заряду, розраховується і моделюється силова частина першого варіанту пристрою системи заряду – автоматичний контролер акумулятора.

Зарубіжні дослідники вказують на кращі результати заряду імпульсною напругою із змінною тривалістю імпульсу. Автори стверджують, що таким чином досягається зниження внутрішнього опору, продовження терміну експлуатації та відновлення ємності акумуляторів, зниженою в результаті систематичного недозаряду.

Відзначаючи позитивні якості «імпульсних» методів заряду, дослідники, проте, дотепер не привели закінчене теоретичне обґрунтування спостережуваних ефектів. Спираючись на математичну модель кислотного акумулятора, можна припустити, що оптимальні параметри імпульсів зарядки визначаються миттєвою кількістю доступного електроліту і об'ємними характеристиками (площею пір) зони намазки пластини. Спрощено кажучи, необхідна сила струму імпульсу заряду визначається сукупною площею всіх пір намазки акумулятора, а необхідна тривалість імпульсу - кількістю доступного для реакції електроліту.

Для зарядки автомобільного акумулятора імпульсним струмом в автомобілі, проектується електронний автоматичний контролер акумулятора, який керуватиме процесом заряду і розряду. Він встановлюється безпосередньо в бортову мережу автомобіля, розриваючи ланцюг генератор-акумулятор. Це рішення, крім забезпечення імпульсного високочастотного заряду, надасть зручність підключення, тому будь-який користувач зможе його застосувати на своєму автомобілі. Цей пристрій забезпечить імпульсний струмовий заряд заданої величини при різних температурах.

Автоматичний контролер акумулятора є схемо-технічним рішенням, здатним видавати розрахований вихідний струм (постійний і імпульсний) за рахунок регулювання вихідної напруги. Основні елементи - понижуючий і

підвищуючий перетворювачі, забезпечують за допомогою накопичувального дроселя потрібну силу струму і напругу. Модуль управління за допомогою драйверів управляє цими перетворювачами ШІМ, автоматично контролюючи силу струму і напругу на акумуляторі. Для подальшої розробки проводиться експеримент на пошук пошук методики імпульсного заряду.

У третьому розділі проектується і розробляється тестовий стенд для дослідження імпульсного заряду з контролем струму, виконується розробка алгоритму і програмної частини керуючого мікроконтролера та проводиться експеримент пошуку оптимальних з точки зору ефективності заряду, значень амплітуди і тривалості зарядного імпульсу.

В рамках дослідницької роботи була запропонована і реалізована дослідна установка, структурна схема якої представлена на рисунку 1.

Мікроконтролер STM32F030F4P6 за допомогою керованого джерела струму формує імпульси зарядного струму необхідної величини і тривалості. Датчики струму і напруги контролюють фактичні значення напруги і струму зарядних імпульсів, за допомогою вбудованого в мікроконтролер 12-розрядного АЦП аналогові сигнали з виходів датчиків перетворюються в цифрову форму. Оцифровані значення параметрів імпульсу зберігаються через інтерфейс RS232 на персональній ЕОМ за допомогою програми Realterm в текстовому вигляді.

Для визначення необхідної величини зарядного струму проведена серія дослідів, які полягали в формуванні зарядного імпульсу тривалістю 5 секунд. Було висловлено припущення, що при малій тривалості імпульсу заряду можливо допустити багаторазове збільшення струму. Проведені досліді, в яких амплітуда імпульсів струму приймала значення в діапазоні від 0.2С до 1С. На рисунку 2 представлені графіки напруги на акумуляторі протягом зарядного імпульсу при різних значеннях струму заряду.

Аналіз отриманих графіків дозволяє зробити висновок про необхідні значенні тривалості імпульсу для цього значення струму заряду. Ділянка графіка, на якій відбувається зростання першої похідної від напруги,

відповідає періоду часу, коли імовірно здійснюється найповніша електрохімічна взаємодія. На рисунку 3 представлений приклад чисельного диференціювання графіків напруги імпульсів заряду. Максимуми функцій на графіку рисунка 3 відзначені точками на рисунку 2.

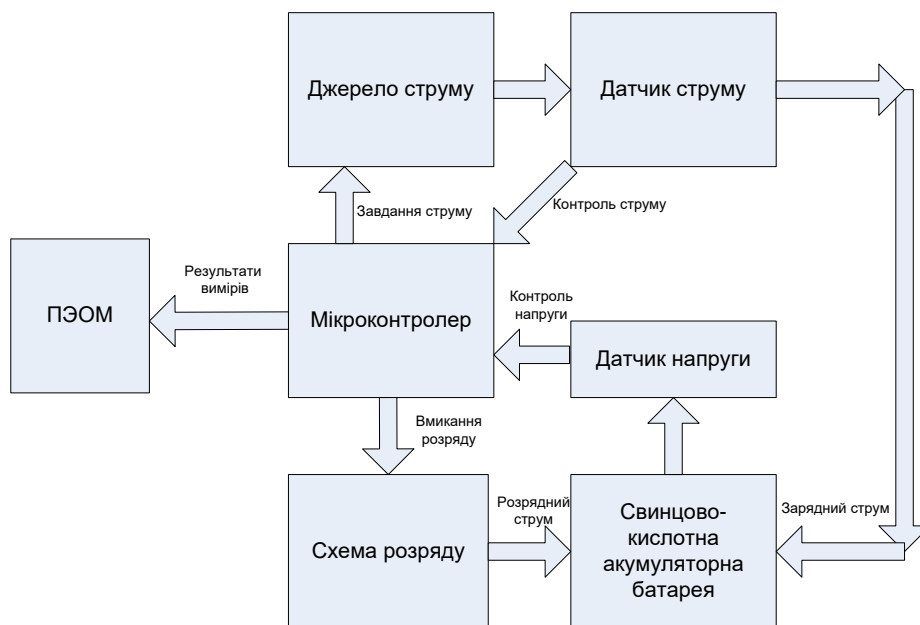


Рисунок 1 – Структура дослідного стенду

У міру збільшення локальної концентрації кислоти на поверхні пір намазки швидкість реакції зменшується. Експериментально встановлено, що, при тривалості імпульсу, коли графік похідної заряду проходить вище точок максимуму функцій на графіку 3, електроліт акумулятора починає «кипіти». Більш того, горизонтальну ділянку імпульсу (на рисунку 2) відповідає зоні сильного газовиділення, коли струм витрачається в основному на процес електролізу води. Тому, досягнення точки максимуму функцій на графіку 3 прийняті в якості умови припинення зарядного імпульсу.

Виконувався пошук амплітуди імпульсного струму, яка забезпечить максимальну ефективність електрохімічного взаємодії. В якості критерію ефективності запропоновано використовувати синтетичний критерій - величину «зарядного опору» R_z . На підставі ряду експериментальних

вимірювань була отримана залежності величини «зарядного опору» від струму заряду, зображена на рисунку 4.

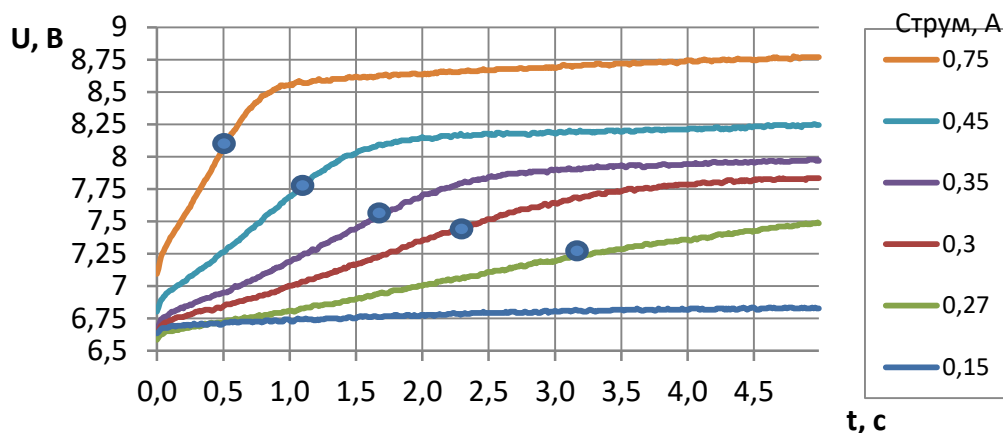


Рисунок 2 – Графіки напруг імпульсів заряду при різних значеннях струму

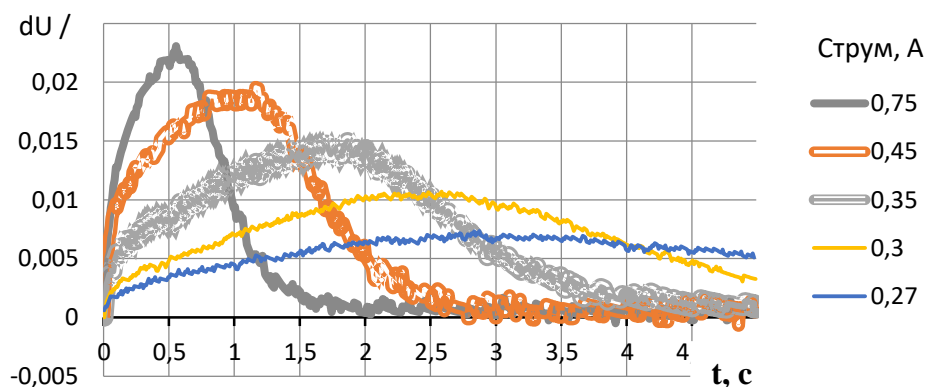


Рисунок 3 – Чисельне диференціювання напруг імпульсів заряду

Аналіз залежності величини зарядного опору від струму заряду, показав, що при малих струмах характеристика зарядного опору має швидкий спад. Тому заряд на малих струмах не може бути ефективним. Однак, при струмі 0,5С зростання ефективності заряду знижується.

Рішення задачі автоматизованого визначення струму заряду досягається визначенням графіка залежності величини зарядного опору від струму заряду. Для цього мікроконтролер генерує серію коротких імпульсів

струму різних амплітуд і виконує аналіз отриманого графіка залежності "зарядного опору" від струму.

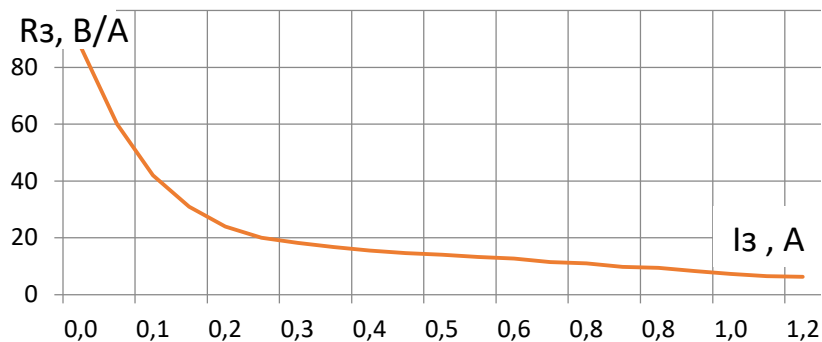


Рисунок 4 - Залежності величини «зарядного опору» від струму заряду

У четвертому розділі проектувалися драйвери та модуль управління для силової частини контролера, проводились випробування контролера на автомобілі, розроблявся, програмувався та випробувався другий варіант системи контролю і управління процесом заряду, а також, проводився розрахунок надійності роботи свинцево-кислотного акумулятора.

При проектуванні модулю драйверів обрані наступні елементи:

- високошвидкісні оптрони FOD3120;
- перетворювач напруги на мікросхемі XL6009 з двома гальванічно-розв'язаними обмотками;
- сучасний драйвер синхронного випрямляча IR1161, який не вимагає управління та працює автономно;

- драйвера нижнього ключа IRS44273, керований мікроконтролером.

Модуль управління автоматичного контролера складається з:

- датчику струму і напруги на вході контролера акумулятора INA219;
- датчику напруги акумулятора, датчику струму контролю сигналізації, датчику температури, спроектовані на ОП LM2902;
- мікроконтролеру зв'язку ESP8266;
- головного мікроконтролера STM32F051K8T6;

- блока живлення MP1584;
- LC-фільтра живлення.

В ході випробувань запропонованого алгоритму були зареєстровані сплески напруги в бортовій мережі. Причина – відключення акумулятора від бортової мережі в процесі зарядки, коли працюють перетворювачі. Тому було запропоновано використовувати контролер заряду у таких системах, як сонячні або вітряні електростанції. У цих системах акумулятор виконує функцію лише накопичувача енергії, а не фільтру, як в автомобілі.

Для підвищення надійності роботи свинцевого акумулятора в автомобілі розроблявся інший пристрій, який не розриває ланцюг бортова мережа – акумулятор. Цей пристрій – струмовий регулятор, який буде застосовуватися замість стандартного регулятора напруги.

У автоматизованій системі, мікроконтролер STM32F030F4P6 управляє обмоткою збудження генератора за допомогою драйвера. При зміні керуючої напруги на обмотці збудження змінюється напруга на обмотці статора, що тягне за собою збільшення струму заряду акумулятора. Це значення фіксує датчик струму, який передає дані на мікроконтролер. Таким чином, відбувається регулювання зарядного струму. При відключенні драйвера струм генератора стане рівним нулю - акумулятор почне розряджатися в бортову мережу автомобіля. Далі мікроконтролер знову включить драйвер і почнетесь зарядний імпульс. Таким чином, реалізуються імпульси зарядного і розрядного струмів необхідної величини і тривалості, яка досягає 30-60 с, що дозволяє мінімізувати помітність процесів управління зарядом.

Автоматизована система контролю і управління процесом заряду випробувалась на автомобілі ВАЗ 2106, де після моменту увімкнення запалювання, запускається WiFi точка доступу и NNTP – сервер. Далі користувач з ноутбука ASUS T100 підключається до цієї точки доступу. У браузері клієнт вводить IP адресу 192.168.4.1 і отримує відповідь у вигляді html сторінки. Графік імпульсного заряду акумулятора системою представлений на рисунку 5.

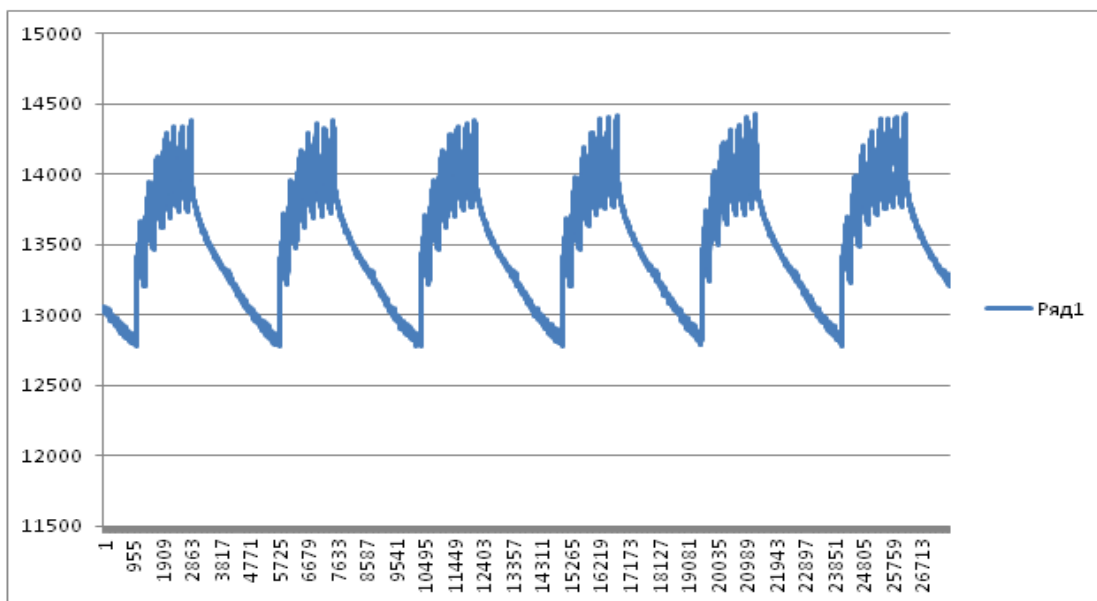


Рисунок 5 – Графік зарядки акумулятора імпульсами при використанні розробленої системи контролю зарядки за дослідженим алгоритмом

Проводилася оцінка надійності роботи акумулятора при класичному та розробленому способі заряду. Результатом розробки та програмування автоматизованої системи контролю і управління процесом заряду стане підвищення параметрів надійності, а саме, підвищення середнього терміну експлуатації, в середньому на 3,5 роки та вірогідності безвідмовної роботи протягом 5 років на 31,5%.

У четвертому розділі здійснено техніко – економічне обґрунтування проекту (приведено в таблиці 1) для партії акумуляторів у кількості 20 штук, яке підтвердило доцільність впровадження системи автоматичного заряду автомобільного акумулятора з річним економічним ефектом - 6621,7 грн та терміном окупності - 2,24 роки. Індекс рентабельності склав 1,93.

У п'ятому розділі визначені небезпечні, шкідливі виробничі фактори при проектуванні системи автоматичного заряду, розроблені заходи щодо забезпечення безпечних умов праці, особливо прілино увагу електробезпеці та пожежній безпеці, проведений розрахунок захисного заземлення та створено правила дії при надзвичайній ситуації.

ВИСНОВКИ

У даній роботі проведений аналіз існуючих методів зарядки, який показав, що класичний метод зарядкою постійною напругою непридатний для зарядки в автомобілі, бо існує залежність внутрішнього опору акумулятора від температури.

Тому, проводився експеримент на пошук оптимальних параметрів імпульсного заряду, в ході якого встановлено, що при малій тривалості імпульсу заряду можливо допускати багаторазове збільшення струму заряду, але оптимальний струм з точки зору опору поляризації знаходиться в діапазоні 0,2-0,4С. Критерій оптимальності тривалості імпульсу – максимальна ефективність заряду. Встановлено необхідне значення тривалості імпульсу заряду для кожного значення струму заряду, яке дорівнює тривалості від початку росту напруги до збільшення її першої похідної до максимуму. Цей час відповідає найповнішій електрохімічній взаємодії.

В якості критерію повноти заряду запропоновано використовувати плаваючий рівень напруги.

Дана робота дозволила застосувати новий імпульсний спосіб заряду всередині автомобіля - в автоматизованій системі контролю і управління процесом заряду, що дозволить підвищити строк служби до 3,5 років та поліпшити експлуатаційні показники акумулятора узимку до 31,5%, тобто підвищити надійність за рахунок повного заряду без перезарядження.

Основні результати роботи доповідалися на Всеукраїнському конкурсі студентських робіт із спеціальності «Автомобільний транспорт» та «Автоматизація виробничих процесів».

За темою магістерської роботи опублікована стаття у науковий вісник ДДМА.

АНОТАЦІЯ

Решетняк С.Р. Підвищення надійності роботи свинцевого акумулятора при важких умовах експлуатації шляхом дослідження та розробки автоматизованої системи контролю заряду.

У дипломному проєкті магістра проведений аналіз існуючих методів зарядки, який показав, що класичний метод зарядкою постійною напругою непридатний в автомобілі, бо існує залежність внутрішнього опору акумулятора від температури.

Проводився експеримент пошуку значення оптимальних з точки зору ефективності заряду, значень амплітуди і тривалості зарядного імпульсу.

В результаті, вперше запропоновано використання такого імпульсного заряду, у якому амплітуда залежить від опору поляризації, а тривалість імпульсу обмежується моментом досягнення максимуму похідної напруги.

Дана робота дозволила застосувати новий імпульсний спосіб заряду всередині автомобіля - в автоматизованій системі контролю і управління процесом заряду, що дозволить підвищити строк служби до 3,5 років та поліпшити експлуатаційні показники акумулятора узимку до 31,5%, тобто підвищити надійність за рахунок повного заряду без перезарядження.

Ключеві слова: акумулятор, зарядний опір, тривалість імпульсу, безвідмовність, автоматизація, система заряду.

АННОТАЦИЯ

Решетняк С.Р. Повышение надежности работы свинцового аккумулятора при тяжелых условиях эксплуатации путем исследования и разработки автоматизированной системы контроля заряда.

В дипломном проекте магистра проведен анализ существующих методов зарядки, который показал, что классический метод зарядки постоянным напряжением непригоден в автомобиле, т.к. существует зависимость внутреннего сопротивления аккумулятора от температуры.

Проводился эксперимент поиска оптимальных значений амплитуды и длительности зарядного импульса, с точки зрения эффективности заряда.

В результате, впервые предложено использование такого импульсного заряда, в котором амплитуда зависит от сопротивления поляризации, а длительность импульса ограничивается моментом достижения максимума производной напряжения.

Данная работа позволила применить новый импульсный способ заряда внутри автомобиля – в автоматизированной системе контроля и управления процессом заряда, что позволит повысить срок службы до 3,5 лет и улучшить эксплуатационные показатели аккумулятора зимой до 31,5%, то есть повысить надежность за счет полного заряда без перезарядки.

Ключевые слова: аккумулятор, зарядное сопротивление, длительность импульса, безотказность, автоматизация, система заряда.

SUMMARY

Reshetnyak S.R. Predictive robots of a lead-acid accumulator with important wits, operating with a premium, and the development of an automated charge control system.

The Master's thesis project analyzed existing charging methods, which showed that the classic DC charging method is unsuitable in a car, since there is a dependence of the internal resistance of the battery on temperature.

An experiment was performed to find the optimal values in terms of charge efficiency, amplitude values and duration of the charging pulse.

As a result, it is first proposed to use such a pulse charge, in which the amplitude depends on the polarization resistance, and the pulse duration is limited by the moment of reaching the maximum of the derivative voltage.

This work allowed us to apply a new impulse method of charging inside the car - in an automated system of control and control of the charge process, which will allow to increase the service life up to 3.5 years and to improve the performance of the battery in the winter up to 31.5%, ie to increase the reliability due to a full charge without recharge.

Key words: battery, charging resistance, pulse duration, uptime, automation, charge system.