

### Анотації:

В статті представлені особливості та результати проведених робіт з визначення закономірностей зміни масового та міцностного показників від варіації геометричних параметрів для перспективних профілів вагонобудування.

В статье представлены особенности и результаты проведенных работ по определению за-

кономерностей изменения массового и прочностного показателей от вариации геометрических параметров для перспективных профилей вагоностроения.

In the article the presented features and results of the conducted works on determination of conformities to law of change mass and prochnostnogo indexes from variation of geometrical parameters for the perspective types of carriage building

УДК 629.4.064

ТАРТАКОВСЬКИЙ Е.Д., д.т.н., професор (УкрДАЗТ);  
КРИВОШЕЯ Ю.В., к.т.н., доцент (ДонІЗТ);  
РЯБКО К.О., ст. викл. (ДонІЗТ).

### **Аналіз експериментальних даних та їх порівняння з результатами теоретичних досліджень на основі розробленої адаптованої математичної моделі акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів**

#### **Постановка проблеми**

Недосконалість систем пуску маневрових тепловозів головним чином пояснюється застосуванням застарілих підходів та методів при їх проектуванні та розрахунках.

Вищевказана ситуація визначає актуальність та важливість проведення науководослідних робіт, спрямованих на подовження терміну служби акумуляторних батарей за рахунок застосування нового схематехнічного рішення системи пуску тепловозних дизелів на основі даних теоретичних до-

сліджень з застосуванням адаптованих математичних моделей які в повній мірі відображають процеси що протікають в акумуляторній батареї під час пуску.

#### **Постановка задачі**

При аналізі експериментальних даних та їх порівнянні з теоретичними результатами моделювання акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів необхідно враховувати, умови роботи акумуляторної батареї під час пуску,

вольт-амперні і розрядні характеристики при різній температурі навколишнього середовища і ступеня розряду. Тобто, модель акумулятора повинна враховувати збільшення внутрішнього опору при розряді і при зміні температури.

Адаптація математичної моделі акумуляторних батарей тепловозів з врахуванням характеристик експлуатації являється актуальною задачею.

### **Аналіз публікацій**

Розробці та адаптації математичних моделей які в повній мірі описують процеси що протікають в акумуляторних батареях тепловозів під час пуску приділяється достатня увага. В [1] розглянута математична модель свинцево-кислотного акумулятора заснована на диференціальних рівняннях в частинних похідних. Визначення доцільних спрощень математичних моделей акумуляторних батарей тепловозів було розглянуто в [2].

Розглянуті моделі дозволяють визначити основні параметри роботи акумуляторних батарей в електричних колах системи пуску тепловозних дизелів, однак не в повній мірі враховують специфіку експлуатації. Такі моделі не виправдано складні та вимагають адаптації для пускових режимів.

### **Основний матеріал дослідження**

Розглянемо кожну складову рівняння (8) наведеного в [1]. Емпіричний вираз (3) в [1] для рівноважної ЕРС на початку розряду вірогідний при щільності електроліту  $q$  від 1,20 до 1,34 г/см<sup>3</sup>. В [3] наводиться більш точне співвідношення, яке дає похибку при щільності електроліту від 1,05 до 1,34 г/см<sup>3</sup> менше 2% від табличних значень [4]:

$$E_0 = 0.8 + q_0$$

Якщо тривалість пікового значення пускового струму не перевищує 1 с, і тем-

пература електроліту близько 30 °С, а при цьому максимальний струм складає близько 1650 А, то, навіть не враховуючи спад струму в часі, ця складова дасть похибку менше 1% при розрахунку пускового струму. При необхідності цю похибку можна мінімізувати вибором коефіцієнта  $k$  при ЕРС поляризації, так як і той й інший доданок враховує концентраційні зміни в електроліті. Так як щільність електроліту залежить від температури, то прийнято приводити щільність до певної температури. Прийmemo цю температуру рівною 25 °С. Тоді перш, ніж скористатися виразом (8) наведеного в [1] (і у всіх наступних виразах), необхідно перерахувати щільність за наступною формулою [5]:

$$q_{25} = q_t + 0,0007(T - 25).$$

Користуючись виразом (8) в [1], запишемо вираз для ЕРС поляризації для пікового графіка навантаження акумуляторної батареї, беручи при цьому максимальний струм розряду за постійну величину:  $I_{p,j} = const$ . Оскільки, в цьому виразі коефіцієнт дифузії прийнятий за постійну величину для певної температури та початкової концентрації електроліту  $C_0$ , газбарити акумулятора теж постійні, то, об'єднуючи константи, вираз можна переписати у вигляді [75]:

$$E_n = \frac{B}{k} \cdot \sum_{j=1}^n (I_j - I_{j-1}) \cdot \sqrt{(t_n - t_{j-1})},$$

$$\text{де } B = \frac{0.052}{F \cdot h \cdot d \sqrt{D \cdot \pi}},$$

$$D = (1.75 + 0.26 \cdot C_0) \cdot 10^{-9} \cdot e^{\left( \frac{21740}{29815} - \frac{21740}{T} \right)}.$$

У виразі (8) наведеного в [1] припущено, що внутрішній опір акумулятора незмінний, це справедливо лише при коротких розрядах, що найбільш точно відповідає роботі акумуляторної батареї під час пуску дизеля, в зв'язку з цим в подальших перетвореннях виразу (8) в [1] немає необхідності, так як він в повному обсязі описує процеси протікаючи в батареї.

Параметризація виразу (8) в [1] для акумулятора типу 6СТ-190 здійснюється за довідковими та розрахунково-теоретичним або експериментальним даним.

Габарити акумулятора зазначені в паспорті батареї.

Постійна Фарадея:  $F = 96487$  Кл / моль.

Для температури  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :  $R_{em} \sim 3\text{МОм}$ .

Початкова щільність електроліту  $1,27\text{ г/см}^3$ .

Коефіцієнт дифузії:  $D = 2,63 \cdot 10^{-9}\text{ м/с}^2$ .

Значення коефіцієнтів  $K_{0,5}$ ,  $\beta$  і  $k$  визначені з вольт-амперних і розрядних характеристик акумулятора, побудованих за чисельною моделлю заснованою на диференціальних рівняннях в частинних похідних.

Використовуючи раніше виведений вираз для ЕРС поляризації для пікової форми розрядного струму, можна побудувати вольт-амперні характеристики акумулятора для будь-якого ступеня розряду, підставляючи необхідні значення струму і часу. Так, щоб побудувати вольт-амперні характеристики для розрядженого акумулятора струмом півгодинного розряду, тобто технічний стан батареї відповідає половині ємності, необхідно підставити в якості тривалого - півгодинний струм розряду, в якості часу першого ступеня розряду – 1800 с, в якості часу другого ступеня розряду - тривалість пікового значення максимального струму:  $t + 1800$  секунд. У цьому випадку вираз прийме вигляд:

$$u(t) = E_0 - I_k R_0 (1 + K_{0,5}) - \frac{B}{k} \cdot I_{0,5} \sqrt{t_p} - \frac{B}{k} (I_k - I_{0,5}) \sqrt{t_k}$$

Використовуючи цей вираз, легко визначити вольт-амперну характеристику як для повністю розрядженого акумулятора, так і для будь якого стану розрядженості.

У результаті розрахунків отримані вольт-амперні характеристики акумулятора типу 6СТ-190 для зарядженого і розрядженого станів при різній температурі і струмі розряду. А також розрядні характеристики акумулятора. На рис. 1 та 2

наведених в [1] представлені результати чисельних розрахунків, суцільна лінія - модель з диференціальними рівняннями, пунктир - розроблена модель. Розбіжність між спрощеною розробленою моделлю і моделлю, заснованої на диференціальних рівняннях, менше 7% у всьому розглянутому діапазоні температур і ступеня розряду, як для розрядних, так і вольт-амперних характеристик акумулятора. Таким чином, можна вважати, що спрощений вираз для вольт-амперних і розрядних характеристик можна порівняти зі складною моделлю заснованої на диференціальних рівнянь. Але, параметризація спрощеного виразу, на відміну від останньої моделі, може бути здійснена за зовнішнім електричним характеристикам акумулятора. Таким чином, для вирішення поставлених завдань модернізації системи пуску тепловозних дизелів перспективними акумуляторними батареями, раціональне застосування отриманої спрощеної моделі. При розрахунку як за моделлю в частинних похідних так і за розробленою моделлю отримано, що опір акумулятора при зниженні температури з  $25$  до  $0\text{ }^\circ\text{C}$  збільшується в 1,5 рази. В [3] приведені аналогічні дані, справедливі як для стартерних, так і для стаціонарних акумуляторів. Відповідно паспортним даним акумуляторної батареї типу 6СТ-190 вольт-амперні характеристики за даними ВестаДіпро, розрахункові вольт-амперні характеристики за розробленою методикою відрізняються від зазначених на 5%. Це пояснюється різницею у внутрішньому опорі акумулятора.

Вольт-амперні характеристики, визначені за розробленою моделлю, дають похибку розрахунку струму по відношенню до використовуваних в практиці менше 7%.

Застосування нелінійної вольт-амперної характеристики акумуляторної батареї або її апроксимація двома ламаними кривими не виправдано складна, і при розрахунку пікових значень струму в

системі пуску тепловозних дизелів припустимо вважати вольт-амперну характеристику прямолінійною, при цьому похибка випрямлення не перевищить 5%. Таким чином, вольт-амперну характеристику акумулятора можна охарактеризувати значенням напруги холостого ходу і пусковим струмом на виводах акумуляторної батареї. Такий підхід використовується в зарубіжній практиці.

Для мінімізації похибки розрахунку пускового струму по розрахунковим вольт-амперним характеристикам, необхідно врахувати, що напруга холостого ходу повинна бути дещо нижчою ніж ЕРС акумулятора. Це обумовлено нелінійністю початкової ділянки характеристики зарядженого акумулятора. Тому розрахункову ЕРС повністю зарядженого акумулятора визначимо як

$$E = E_0 - (0,02 \div 0,05) V.$$

При цьому зменшується похибка в порівнянні в експериментальними даними і діючої методикою розрахунку системи пуску тепловозних дизелів з 7 до 5%. Для розрядженого акумулятора  $E = E_0$ , так як після зняття декількох відсотків ємності характеристика стає практично лінійною.

Проведені експерименти по розряду акумуляторної батареї з фіксуванням її ЕРС, пускового струму і напруги підтверджують правомірність використання спрощеної методики для розрахунку пікових значень струму.

Експерименти проводилися на діючих тепловозах локомотивного депо Донецької залізниці ТЧ-20 Ясинувата, металургійного комбінату «ЗапорізьСталь», як з штатними акумуляторними батареями 55ТН-150-У2 Са+, так і з автомобільними 6СТ-190 що складаються з 8 свинцево-кислотних акумуляторних батарей.

Для вимірів пікових значень пускових струмів застосовані вимірювальні шунти ШС-150, пуск дизеля тепловоза проводився у штатному режимі. Паралельно вимірювальному шунту підключався пристрій реєстрації аналогових сигналів

АЦП/ЦАП Sigma16/16 USB, та запам'ятовуючий осцилограф С8-17 який дозволяє зафіксувати осцилограми, отриманого струму і напруги перехідного процесу. Додатково проводилось осцилографування напруги акумуляторної батареї, що дозволило однозначно визначити параметри роботи акумуляторних батарей в системі пуску тепловозних дизелів.

Також було проведено визначення опору пускової системи за допомогою мікроомметра.

Визначення ЕРС і внутрішнього опору зарядженого акумулятора, що знаходиться в стані рівновазі, проводилось АЦП/ЦАП до включення рубильника батареї ОБА. Після підключення ланцюгів управління, також проводилися виміри АЦП/ЦАП. За отриманими АЦП/ЦАП та осцилографом, осцилограмами струму і напруги визначалися ЕРС і внутрішній опір акумуляторів.

На рис. 1 і 2 представлені осцилограми пускового струму, отриманого за допомогою АЦП.

За осцилограмами струму і напруги визначалося ЕРС, розрядна напруга і внутрішній опір акумуляторів. Зіставлення отриманих експериментальних даних з розрахунково-теоретичними здійснювалось за допомогою розробленої моделі.

Оскільки модель була параметризована для акумулятора типу 6СТ-190 ємністю 190 А·год, то отримані значення ємностей і внутрішнього опору для акумулятора ємністю 150, 450 А·год необхідно привести, вважаючи, що батарея ємністю 150 А·год відповідає батареї типу 6СТ-190·0,79, відповідно 6СТ-190·2,37.

Для автомобільних акумуляторних батарей вітчизняного виробництва отримано, що батарея по ємності відповідає штатним акумуляторам типу 55ТН-150-У2 Са+, відповідно отримані значення пускового струму перераховуються з узгодженням до «номеру» батареї - 0,79, або - 2,37.

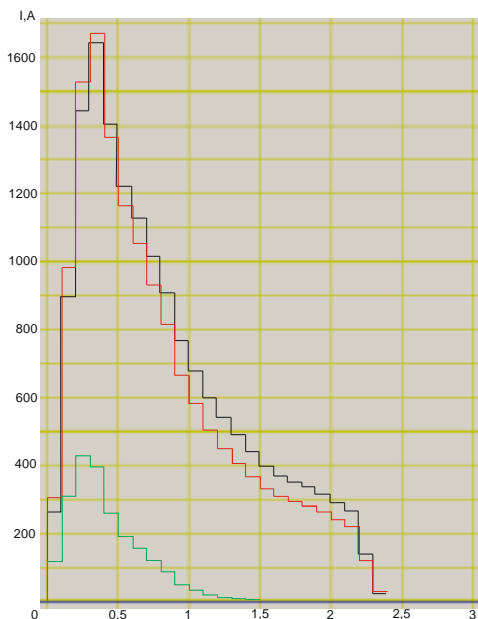


Рис. 1. – Осцилограма пуску дизеля тепловоза ЧМЕЗ №3422

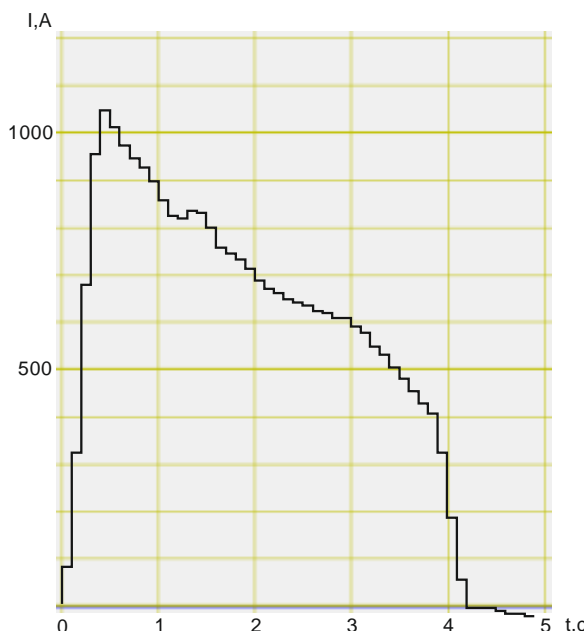


Рис. 2. – Осцилограма пуску дизеля тепловоза ЧМЕЗ №3422, струм акумуляторної батареї

На рис. 3 представлені експериментальні значення розрядної напруги на виводах акумуляторної батареї 6СТ-190 в залежності від строку експлуатації з штатною та модернізованою системою

пуску, суцільна лінія відповідає модернізованій системі, пунктирна штатній.

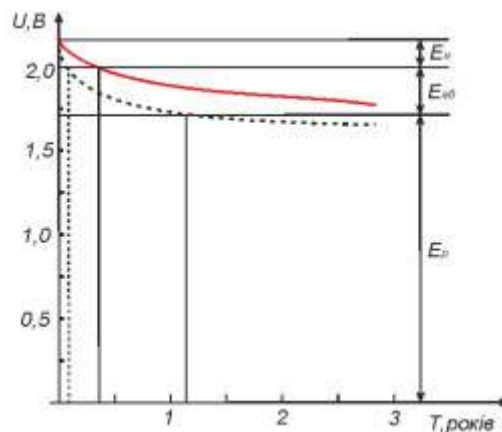


Рис. 3. – Експериментальні значення розрядної напруги

На рис. 4 представлені експериментальні значення залежності зміни ємності акумуляторної батареї від строку експлуатації.

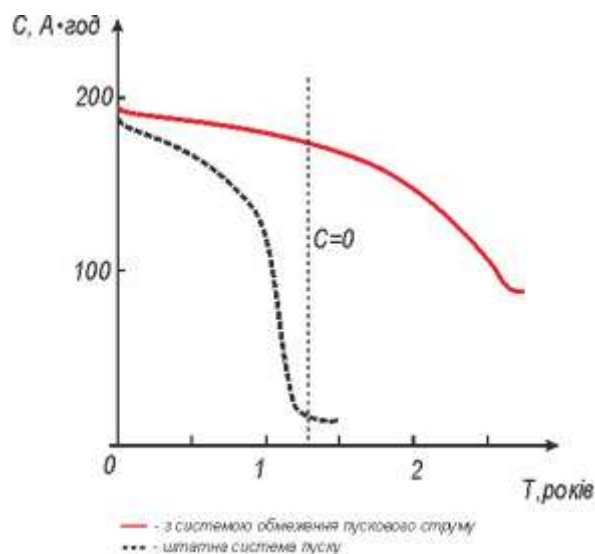


Рис. 4. – Залежність зміни ємності акумуляторної батареї 6СТ-190 від строку експлуатації.

Для акумуляторної батареї типу 6СТ-190 за допомогою адаптованої моделі отримано, що при будь-якому ступені розряду похибка між експериментальними даними та розрахунково-теоретичними не

перевершує 5%. Причиною отриманої похибки може являтися не урахування зміни пористості і ефективної поверхні пластин акумулятора в процесі розряду, що проявляється в неточному визначенні розрахункової ЕРС поляризації. Однак, для інженерних розрахунків отримані похибки цілком прийнятні.

Таким чином, розроблена модель дозволяє прогнозувати розрядні характеристики акумуляторних батарей при півгодинному та годинному струмах розряду з більшою точністю, оскільки за цих струмах по-перше зростає частка омичних втрат на активному внутрішньому опорі в загальних втратах напруги, під-друге вольт-амперна характеристика акумулятора стає більш лінійною.

Таким чином, розроблену математичну модель рідинної свинцево-кислотної акумуляторної батареї для коротких режимів розряду можна використовувати при розрахунку пікових значень струму пуску, так як похибка розрахунку струму не перевищить 7% при використанні каталожних значень внутрішнього опору заряджених акумуляторів.

---

### Висновки

Проведено аналіз експериментальних даних та їх порівнянні з теоретичними результатами моделювання акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів з врахуванням умови роботи під час пуску, вольт-амперних і розрядних характеристик при різній температурі навколишнього середовища і ступеня розряду.

Розроблено адаптовану математичну модель рідинної свинцево-кислотної стартерної тепловозної акумуляторної батареї, що дозволяє враховувати при розрахунку ступінь розряду, технічний стан, вплив максимальних значень пускових струмів в діапазоні розрахункових умов прийнятих при проектуванні систем пуску тепловозних дизелів.

На основі математичної моделі

отримано параметри електричних характеристик акумуляторів, для розрахунку мінімального струму акумуляторної батареї при пуску, необхідного для надійної роботи пускової системи.

Показано, що вольт-амперну характеристику свинцево-кислотного акумулятора стосовно розрахунку пікового струму можна вважати прямолінійною у всьому діапазоні можливих значень струму, при цьому похибка випрямлення не перевищує 5%.

### Список літератури

1. Колесник І.К., Рябко К.О., Аналіз математичних моделей акумуляторних батарей системи пуску тепловозних дизелів // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип. 26 – Донецьк, 2011. – С. 119 – 123.
2. Рябко К.О., Визначення доцільних спрощень математичних моделей акумуляторних батарей тепловозів // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип. 27 – Донецьк, 2011. – С. 137 – 141.
3. Варыпаев В.Н, и др. Химические источники тока: Учеб. пособие для хим. - технол. спец. вузов / В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский и др.; Под ред. В.Н. Варыпаева. – М.; Высш. шк., 1990. – 240 с.
4. Дасоян М.А. Химические источники тока. – Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1969. – 587 с.
5. Поляков А.М., Разработка методики и технических средств расчетного и экспериментального определения токов короткого замыкания от аккумуляторных батарей с учетом измерения их параметров в процессе эксплуатации // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., специальность 05.14.02 - электростанции и энергетические системы. Москва 2001. – 163 с.

Анотації:

Виконано аналіз експериментальних даних та їх порівнянні з теоретичними результатами, враховуючи умови роботи під час пуску, вольт-амперні і розрядні характеристики при різній температурі навколишнього середовища і ступеня розряду.

Розроблено адаптовану математичну модель рідинної свинцево-кислотної стартерної тепловозної акумуляторної батареї.

Отримано параметри електричних характеристик акумуляторів, для розрахунку мінімального струму акумуляторної батареї при пуску, необхідного для надійної роботи пускової системи.

---

Выполнен анализ экспериментальных данных и их сравнение с теоретическими результатами, учитывая условия работы при пуске, вольт-амперные и разрядные характеристики при различной температуре окружающей среды и степени

разряда.

Разработана адаптированная математическая модель жидкостной свинцево-кислотной стартерной тепловозной аккумуляторной батареи.

Получены параметры электрических характеристик аккумуляторов, для расчета минимального тока аккумуляторной батареи при пуске, необходимого для надежной работы пусковой системы.

---

The analysis of experimental data and their comparison with theoretical results, taking into account the working conditions at start-up, the current-voltage and discharge characteristics at different ambient temperatures and the extent of the discharge.

Developed an adapted mathematical model of a liquid lead-acid starter battery of diesel.

Parameters of the electrical characteristics of the batteries, to calculate the minimum current during start-up battery required for the reliable operation of the trigger system.

УДК 621.873.2

КОВАЛЕНКО О.С., асистент (УкрДАЗТ).

### Технічний аналіз стану силового обладнання вантажопідійомних кранів

---

#### Постановка проблеми

---

Аналіз зареєстрованих відмов показує, що силове обладнання відноситься до обладнання, що часто виходить з ладу. На його огляд і ремонт витрачаються великі трудові та матеріальні ресурси. До основних характерних пошкоджень елементів силового обладнання відносяться:

- вали і осі - тріщини або злами, скручування або вигин, знос шийок і

цапф, знос або зім'яття шпоночних канавок, шліців і різьблення;

- гальмівні барабани і шківни – задири на барабанах і шківних, тріщини, нерівномірний знос барабанів та шківів;

- зубчасті і черв'ячні передачі - зношування та викришування зубів;

- підшипники кочення - зношування доріжки кочення, тріщини і злами в кільцях і тілах кочення; порушення посадки кілець;