

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет

М. П. Розводюк

**ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАМВАЯМИ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК 629.433

P64

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 2 від 28.09.2017 р.).

Рецензенти:

О. П. Чорний, доктор технічних наук, професор

М. Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор

Розводюк, М. П.

P64 Зменшення рівня енергоспоживання трамваями : монографія / М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 94 с.

ISBN 978-966-641-715-5

В монографії досліджено процес споживання електроенергії трамваями з точки зору її економії. Розроблено математичні моделі, що описують цей процес, та запропоновано способи економії електроенергії.

Розрахована на інженерно-технічних працівників трамвайно-тролейбусних управлінь, а також може бути корисною студентам та аспірантам вузів, котрі спеціалізуються в галузі електромеханіки й електротехніки та міського електротранспорту.

УДК 629.433

ISBN 978-966-641-715-5

© М. Розводюк, 2017

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЯМИ	7
1.1 Загальні підходи економії електроенергії трамваями	7
1.2 Аналіз процесу споживання трамваями на маршрутах.....	9
1.3 Аналіз процесу струмознімання	12
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАМВАЯМИ	16
2.1 Розробка лічильника електроенергії постійного струму для трамвая	16
2.2 Побудова емпіричного закону розподілу споживання електроенергії трамваями за годину	20
2.3 Синтез авторегресійних математичних моделей процесу споживання електроенергії трамваями на маршрутах	25
2.4 Автоматизація процесу побудови регресійних математичних моделей споживання електроенергії трамваями на маршрутах.....	29
2.4.1 Вихідні передумови та постановка задачі дослідження.....	29
2.4.2 Розробка підходу до формалізації і автоматизації процесу	29
2.4.3 Практична реалізація запропонованого підходу.....	30
2.5 Зниження електроспоживання трамвая КТ 4СУ за рахунок модернізації обмотки якоря двигуна двигун- генератора SMD 5001	35
2.5.1 Вихідні передумови та постановка задачі дослідження.....	35
2.5.2 Розв'язання поставленої задачі	36
2.6 Спосіб економії електроенергії трамваєм КТ 4СУ в холодну пору року.....	39
2.6.1 Вихідні передумови та постановка задачі дослідження.....	39
2.6.2 Розв'язання поставленої задачі	40
2.7 Зниження електроспоживання трамвая КТ 4СУ за рахунок зміни конструкції системи опалення кабіни водія ...	43

2.8 Зменшення втрат електроенергії в пантографі трамвая.....	47
2.9 Визначення оптимального значення контактного натиску струмознімальним елементом на контактну мережу	51
2.10 Фактор технічного стану транспортного засобу на витрату електроенергії	61
2.10.1 Вихідні передумови та постановка задачі дослідження...	61
2.10.2 Розв’язання поставленої задачі	64
2.11 Контроль та реєстрація параметрів роботи трамвая.....	65
2.11.1 Вихідні передумови та постановка задачі дослідження...	65
2.11.2 Розв’язання поставленої задачі	66
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОГО СТРУМОЗНІМАННЯ ТА КОНТРОЛЮ Й РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТРАМВАЯ.....	
3.1 Розробка пристроїв для підтримання оптимального натиску пантографа на контактну мережу	67
3.3 Розробка пристрою для контролю та реєстрації параметрів роботи трамвая	80
Висновки	83
Література.....	85

ВСТУП

З кожним днем як в світі, так і в нашій країні загострюється питання мінімізації витрат енергоресурсів. А тому процес електроспоживання тим чи іншим об'єктом з огляду мінімізації енерговитрат завжди цікавий як науковцям, так і працівникам, які з ним працюють.

Одним із найбільших споживачів такого виду енергоресурсів, як електрична енергія, практично кожного великого міста є міський електротранспорт, в тому числі й трамвайний парк. З іншого боку, досить гостро стоїть проблема загазованості міст. А як наслідок, використання екологічно чистих видів транспорту, серед яких трамвай займає особливе місце, стає домінуючим. Тому потрібно знаходити способи та методи розв'язання задачі щодо зменшення рівня електроспоживання трамваями на маршрутах.

То ж зменшення втрат при перетворенні енергії з електричної, що споживається з контактної мережі, в тягову, а також у допоміжних системах трамвая є актуальною проблемою.

Дослідженнями в цьому напрямку в Україні практично ніхто не займається. Більше уваги приділяють залізничному транспорту. Тому ця тематика з врахуванням постійного росту цін на електроенергію на сьогоднішній день та й в майбутньому є актуальною й перспективною.

Наукові дослідження в цьому напрямку проводяться у Вінницькому національному технічному університеті ще з 2000-го року. Зокрема встановлено, що основними чинниками, що впливають на кількість спожитої електроенергії трамваями на маршрутах, є:

- людський фактор, тобто кваліфікація самого водія (причому в деяких випадках навіть у два рази);
- технічні стани вагона та контактної мережі;
- якість перехідного контакту «контактний провід–бугель».

Крім того процес споживання електроенергії трамваями носить стохастичний характер і залежить від сезонності роботи.

Виходячи з викладеного вище, автоматизація процесу побудови математичних моделей споживання електроенергії трамваями на маршрутах з можливістю спрогнозувати значення кількості електроенер-

гії, яку буде потрібно придбати в наступних місяцях, є задачею нагальною.

Об'єктом дослідження в роботі є процес передачі електроенергії з контактного проводу до пантографа трамвая та процеси її перетворення під час функціонування трамвая.

Предметом дослідження є математичні моделі процесу споживання електроенергії трамваями.

Метою дослідження є зменшення рівня електроспоживання трамваями на маршрутах.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати особливості споживання електроенергії трамваями;
- розробити математичні моделі, придатні для опису процесу споживання електроенергії трамваями;
- запропонувати способи зменшення рівня процесу споживання електроенергії трамваями.

Робота містить три розділи.

У першому розділі проаналізовано особливості споживання електроенергії трамваями.

У другому розділі розроблено емпіричні закони розподілу споживання електроенергії трамваями, на основі чого синтезовано авторегресійні математичні моделі процесу споживання електроенергії трамваями на маршрутах. Запропоновано підходи до формалізації та автоматизації цього процесу, за результатами чого розроблено програму «ModelAvtoreg», що їх реалізує. Запропоновано способи зменшення рівня процесу споживання електроенергії трамваями.

У третьому розділі на основі запропонованих у другому розділі математичних моделей розроблено пристрої, що дозволяють забезпечити оптимальне струмознімання пантографом трамвая, та пристрій для контролю та реєстрації параметрів роботи трамвая.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЯМИ

Споживання електроенергії трамваями будемо розглядати з точки зору її економії, що є актуальною задачею сьогодення. Тим більше, що трамваї є одним з основних споживачів електроенергії великих міст.

1.1 Загальні підходи економії електроенергії трамваями

В роботі [1] виділяють такі основні напрямки економії електроенергії в трамваях:

- використання рекуперативного гальмування вагонів;
- зменшення порожнього пробігу вагонів до загального пробігу в завантаженому русі;
- використання автоматики управління режимами пічок;
- зменшення пускових (реостатних) втрат енергії.

Першому аспекту останнім часом приділяється достатньо багато уваги, зокрема в роботах [2–5]. Однак не завжди він може бути реалізованим повною мірою.

Часто на форумах обговорюється питання використання в трамваях світлодіодних лампочок, що дасть можливість зекономити як електроенергію, так і кошти [6, 7].

За результатами досліджень, викладеними в роботі [8], стверджується, що впровадження енергозберігаючого електропривода трамвая дозволяє зекономити біля 49 % електроенергії. Крім того додаткова економія може бути отримана від впровадження енергозберігаючого обладнання на рухомому складі [9].

Таким же шляхом пішло і Вінницьке комунальне підприємство «Трамвайно-тролейбусне управління», перетворивши старий чеський трамвай КТ-4СУ «Vin Way» (рис. 1.1), в результаті чого замінено практично всі деталі та системи за винятком рами. Крім ефектного та приємного дизайну отримали й економію енергоресурсів, обумовлену використанням сучасних технологій [10].



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд трамвая «Vin Way»

Додаткова економія – це вдало розроблений розклад руху трамваїв, що забезпечує оптимальну кількість вагонів на маршруті. Розв’язання цієї задачі наведено в роботах [11–16].

Іншим способом зменшити витрати електроенергії міським електротранспортом, в тому числі і трамваями, є розробка нових типів ефективних джерел вторинної енергії та перетворювачів енергії, тобто повторне використання спожитих ресурсів [17]. Сюди відноситься розробка ефективних накопичувачів енергії, що виділяється під час електричного гальмування вагона.

Для забезпечення економічного використання електроенергії трамваями також потрібно забезпечити надійне струмознімання з контактного проводу. Специфікою цього процесу є те, що струмознімання реалізується при великих струмах навантаження під час руху з достатньою швидкістю [18]. Ускладнюють цей процес провисання контактного проводу, що залежить від багатьох факторів, старіння самого контактного проводу, виникнення електричної дуги.

1.2 Аналіз процесу споживання трамваями на маршрутах

В роботах [19, 20] було досліджено процес споживання електроенергії трамваями на маршрутах за двома критеріями:

- 1) за годину;
- 2) на 1 км пробігу.

Встановлено, що за обома критеріями цей процес підпорядковується нормальному логарифмічному закону розподілу [19, 20]:

$$\hat{w} = 10 \lg w, \quad (1.1)$$

$$f(\hat{w}) = \frac{1}{\sigma_{\hat{w}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\hat{w} - m_{\hat{w}}}{\sigma_{\hat{w}}} \right)^2}, \quad (1.2)$$

де w – конкретні значення середнього споживання електроенергії трамваями за годину; \hat{w} – центрований ряд середнього споживання електроенергії трамваями ($\hat{w}^{(r)}$ – за годину, $\hat{w}^{(n)}$ – на 1 км пробігу); $f(\hat{w})$ – густина імовірності випадкової величини споживання електроенергії трамваями; $m_{\hat{w}}$ – статистична оцінка середнього значення випадкової величини споживання електроенергії трамваями ($m_{\hat{w}^{(r)}}$ – за годину, $m_{\hat{w}^{(n)}}$ – на 1 км пробігу); $\sigma_{\hat{w}}$ – статистична оцінка середньоквадратичного відхилення випадкової величини споживання електроенергії трамваями ($\sigma_{\hat{w}^{(r)}}$ – за годину, $\sigma_{\hat{w}^{(n)}}$ – на 1 км пробігу);

Статистичні оцінки споживання електроенергії трамваями за годину мали значення:

$$\begin{cases} m_{\hat{w}^{(r)}} = 15,633; \\ D_{\hat{w}^{(r)}} = 0,194; \\ \sigma_{\hat{w}^{(r)}} = 0,441, \end{cases} \quad (1.3)$$

де $D_{\hat{w}^{(r)}}$ – статистична оцінка дисперсії випадкової величини споживання електроенергії трамваями на маршруті, а їхні довірчі інтервали –

$$\begin{cases} 15,33 \leq m_{\hat{w}^{(r)}} \leq 15,97; \\ 0,12 \leq D_{\hat{w}^{(r)}} \leq 0,7; \\ 0,34 \leq \sigma_{\hat{w}^{(r)}} \leq 0,83. \end{cases} \quad (1.4)$$

Статистичні оцінки споживання електроенергії трамваями на 1 км пробігу мали значення:

$$\begin{cases} m_{\tilde{w}^{(n)}} = 4,201; \\ D_{\tilde{w}^{(n)}} = 0,347; \\ \sigma_{\tilde{w}^{(n)}} = 0,589, \end{cases} \quad (1.5)$$

де $D_{\tilde{w}^{(n)}}$ – статистична оцінка дисперсії випадкової величини споживання електроенергії трамваями на 1 км пробігу, а їхні довірчі інтервали –

$$\begin{cases} 3,82 \leq m_{\tilde{w}^{(n)}} \leq 4,58; \\ 0,17 \leq D_{\tilde{w}^{(n)}} \leq 0,94; \\ 0,41 \leq \sigma_{\tilde{w}^{(n)}} \leq 0,97. \end{cases} \quad (1.6)$$

Досліджено також, що витрати електроенергії в значній мірі залежать від кваліфікації водіїв трамваїв, причому вони можуть суттєво коливатися при роботі на одному і тому ж маршруті (рис. 1.2).

Тому були побудовані математичні моделі для оцінки рівня споживання електроенергії трамваями на маршрутах. За результатами досліджень встановлено [20–22], що:

1) споживання електроенергії «усередненим» трамваєм депо адекватно описується авторегресійною моделлю 6-го порядку у вигляді

$$\begin{aligned} \tilde{W}_t^{(D)} = & -0,307\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,586\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,866\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - \\ & -0,482\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 0,444\tilde{W}_{t-5}^{(D)} - 0,514\tilde{W}_{t-6}^{(D)} + a_t^{(D)} \end{aligned} \quad (1.7)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(D)2} = 0,5$ і трендом

$$\mu_t^{(D)} = 34,818 + 2,215 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571); \quad (1.8)$$

2) споживання електроенергії трамваєм водія «К», що споживає максимальну кількість електроенергії по депо, описується авторегресійною моделлю 4-го порядку:

$$\begin{aligned} \tilde{W}_t^{(K)} = & -0,277\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,056\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - \\ & -0,381\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,769\tilde{W}_{t-4}^{(K)} + a_t^{(K)} \end{aligned} \quad (1.9)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(K)2} = 0,75$ і трендом

$$\mu_t^{(K)} = 40,139 + 3,24 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571); \quad (1.10)$$

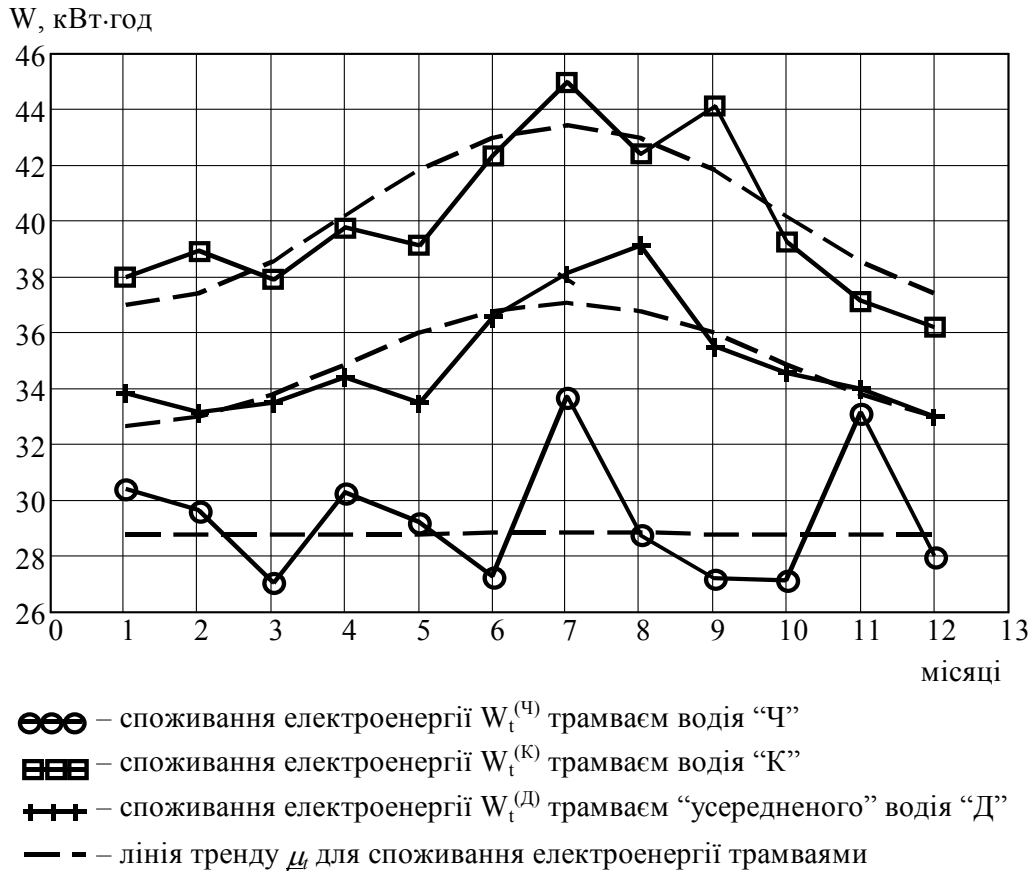


Рисунок 1.2 – Споживання електроенергії трамваями протягом досліджуваного періоду

3) споживання електроенергії трамваєм водія «Ч», що споживає мінімальну кількість електроенергії по депо, описується авторегресійною моделлю 4-го порядку:

$$\begin{aligned} \tilde{W}_t^{(Ч)} = & -0,458\tilde{W}_{t-1}^{(Ч)} - 0,343\tilde{W}_{t-2}^{(Ч)} + \\ & + 0,013\tilde{W}_{t-3}^{(Ч)} + 0,298\tilde{W}_{t-4}^{(Ч)} + a_t^{(Ч)} \end{aligned} \quad (1.11)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(Ч)2} = 3,6$ і трендом

$$\mu_t^{(Ч)} = 28,733 + 0,021 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571), \quad (1.12)$$

де \tilde{W}_t – центрований ряд спожитої електроенергії «усередненим» трамваєм ($\tilde{W}_t^{(Д)}$ – для усередненого трамвая, $\tilde{W}_t^{(K)}$ – для трамвая во-

дія «К», $\tilde{W}_t^{(Ч)}$ – для трамвая водія «Ч»); a_t – імпульс білого шуму ($a_t^{(Д)}$ – для усередненого трамвая, $a_t^{(К)}$ – для трамвая водія «К», $a_t^{(Ч)}$ – для трамвая водія «Ч»).

За результатами аналізу рівня споживання електроенергії керівництво Вінницького комунального підприємства «Трамвайно-тролейбусне управління» розробило низку преміювальних заохочень для водіїв трамваїв, в результаті чого ситуація дещо покращилася. А це означає, що з часом могли змінитися й моделі, що адекватно описували б процес споживання електроенергії. Тобто потрібно здійснити їх перевірку.

1.3 Аналіз процесу струмознімання

Будь-який струмознімальний елемент відноситься до тих електричних апаратів, які впливають на експлуатаційну надійність всього об'єкта [23], а від якості процесу струмознімання залежить термін служби контактного проводу й бугеля пантографа, а також надійність електричної тяги вагона.

В трамваї струмознімальним елементом є його пантограф. В різних видах трамваїв використовуються штангові та бугельні пантографи або напівпантографи. Останні два різновиди знайшли більше практичне застосування. Задачі, які на них поставлені, є однаковими та й принцип роботи мало чим відрізняється. Тому технічні рішення щодо модернізації струмознімального елемента в даній роботі не розглядаються.

Незалежно від того, в якому режимі знаходиться вагон (струмознімання в режимі очікування, розгону, гальмування, нормального завантаження чи перевантаження), які кліматичні умови на нього діють (температура, вологість, ожеледиця), струмознімання завжди повинне бути задовільним.

Причин, які погіршують цей процес, достатньо багато. Вони мають різну фізичну природу. Основні з них наведені на рис. 1.3.

Процес струмознімання повинен задовольняти розв'язку одночасно дві взаємообернені задачі: з точки зору надійного та стійкого струмознімання контактний натиск повинен бути якомога більшим, а за умов мінімального зношення контактуючих матеріалів – по можливості якомога меншим, але не меншим значення, при якому забезпечується стійке протікання струму.

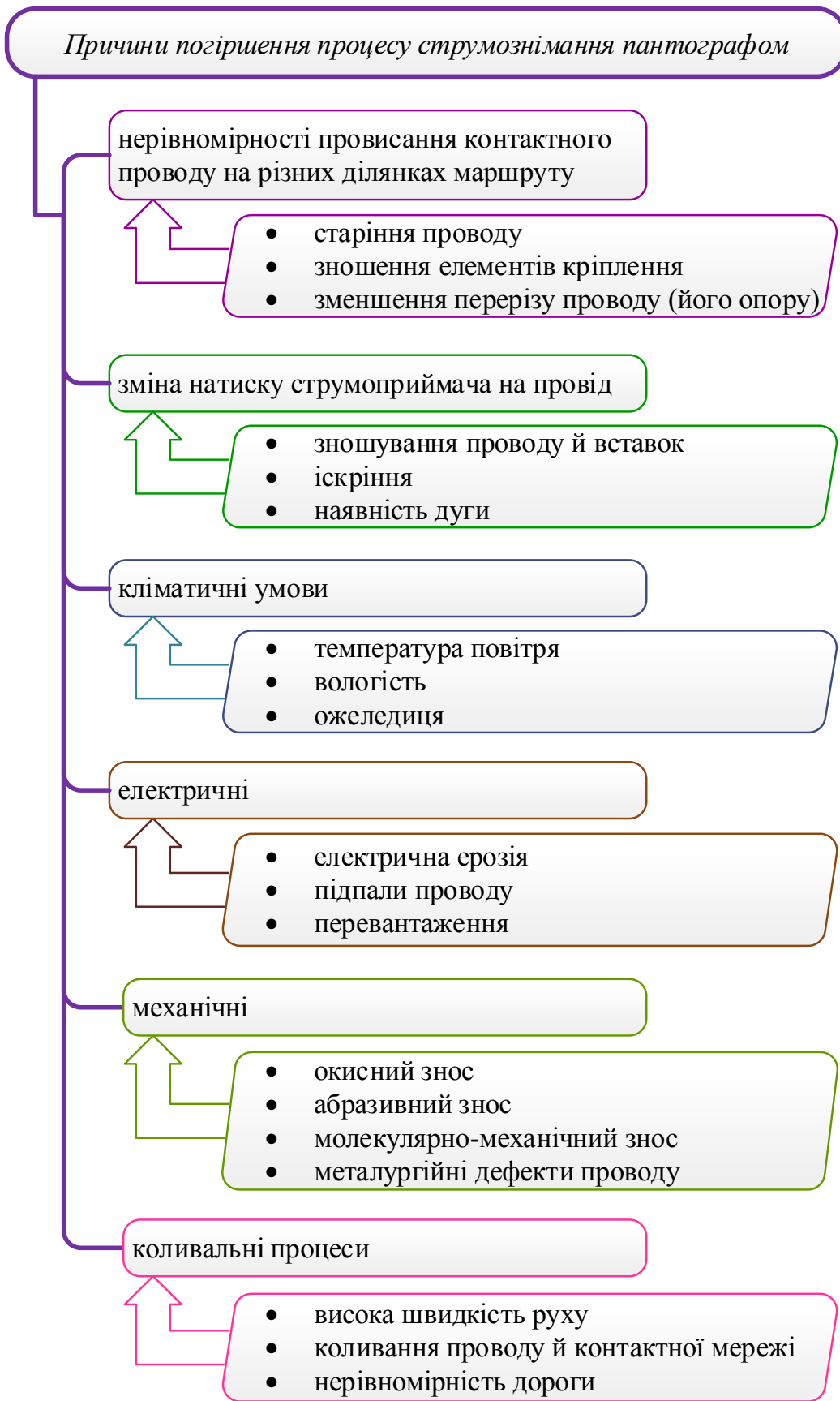


Рисунок 1.3 – Причини погіршення процесу струмознімання пантографом

Сказане гарно ілюструється (рис. 1.4) залежністю сумарних втрат ΔW в системі струмознімання від контактного натиску P_k [24]: оптимальною є ділянка б-в, на ділянці а-б збільшуються втрати через підвищене електричне зношення вугільної вставки й проводу, на ділянці в-г збільшуються втрати через підвищене механічне зношення вугільної вставки й проводу.

Забезпечення розв'язання першої задачі характеризується достатньо високими показниками електричної тяги, а другої – зменшеними економічними витратами.

Реалізація надійного струмознімання між контактним проводом і пантографом супроводжується необхідністю контролю натягу контактної дроти та натиском струмоприймача на контактний провід, а реалізація зменшення економічних витрат – обмеженням часу простою вагону на зупинках із споживанням струму та часу руху в режимі тяги без перевантажень.

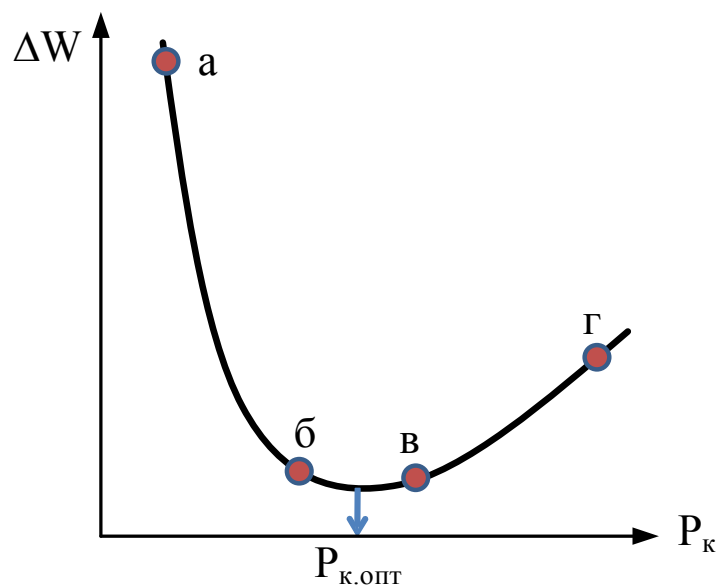


Рисунок 1.4 – Залежність сумарних втрат ΔW в системі струмознімання від контактної сили натиску P_k

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що процес струмознімання пантографом трамвая є достатньо складним з точки зору забезпечення максимального натиску його робочою поверхнею на контактну мережу і водночас мінімізації електричних витрат. Крім

того важливим є врахування факторів, які впливають на цей процес. Зокрема, це стосується як контактної мережі, так і самого бугеля, які вже за великий проміжок часу суттєво зносилися, природних умов (вологості, температури тощо).

В роботі [25] запропоновано метод розрахунку взаємодії струмоприймача зі струмопроводом, який включає в себе розрахунок статичної та динамічної характеристик з урахуванням детермінованого впливу зі сторони стріл провисання струмопроводу.

В роботі [23] розглянуто критерії якості струмознімання, на основі чого встановлено, що основними критеріями стану контактної мережі є контактний натиск та коефіцієнти надійності й економічності струмознімання.

В проекті міждержавного стандарту [26] передбачено визначення середнього значення контактного натиску P_{cp} за час, який містить n точок,

$$P_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^n F_j}{n}, \quad (1.13)$$

де F_j – миттєве значення контактного натиску в точці j :

$$F_j = \sum_{i=1}^{k_f} F_{ді} + \frac{m}{k_a} \sum_{i=1}^{k_a} a_i, \quad (1.14)$$

де $F_{ді}$ – сила, виміряна i -м сенсором сили; a_i – прискорення, виміряне i -м сенсором прискорення; k_f – кількість сенсорів сили; k_a – кількість сенсорів прискорення; m – сума мас конструктивних елементів, які опираються на тензорезисторні силовимірювальні сенсори; i – номер сенсора.

Описані вище методики не враховують динаміку процесу струмознімання та впливу різних факторів, під дією чи в умовах яких цей процес відбувається.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАМВАЯМИ

2.1 Розробка лічильника електроенергії постійного струму для трамвая

На сьогоднішній день всіма підприємствами трамвайно-тролейбусних управлінь України аналіз спожитої енергії проводиться за щоденним, щотижневим або щомісячним показникам лічильників на вводах тягових підстанцій, що не дає можливості провести якісний аналіз економічності перетворення, передачі, споживання, а також втрат електроенергії.

Для порівняння кількості спожитої електроенергії різними транспортними засобами і встановлення норм споживання використовують різні критерії [27, 28], усереднення яких є причиною дуже приблизного підрахунку витрат енергоресурсів підрозділами підприємств, ускладнює складання загального балансу електроенергії по підприємству, завуальовує втрати і не дає можливості порівнювати діяльність споріднених підприємств. Тому актуальною постала задача створення пристрою – лічильника електроенергії постійного струму (ЛПС), який дозволив би точно вимірювати спожиту електроенергію рухомим складом на маршрутах.

Аналіз літературних джерел показав, що на терені колишнього Радянського Союзу були спроби створити такі лічильники, але через ненадійність, високу вартість та низку інших причин вони не знайшли масового застосування [29].

Тому постала необхідність розробки ЛПС з врахуванням вимог при його проектуванні:

- обчислення і видавання спожитої електричної енергії в дискретному вигляді з врахуванням коливання напруги контактної мережі в межах 400–720 В згідно з галузевим стандартом [24, 30];
- діапазон вхідного струму вимірювання не менший 500 А;
- діапазон вхідної напруги вимірювання до 1000 В у довготривалому режимі роботи і до 3500 В – не менше тривалості спрацювання релейного захисту підстанції;

- діапазон робочих температур від -35°C до $+65^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість середовища до 90 %; похибка вимірювань не більша 2 %;
- напруга живлення $\pm (12-35)\text{ В}$;
- дискретність вимірювань 1 кВт·год.;
- здатність витримувати вібрації, допустимі для електрорухомого складу;
- повна безпека для обслуговуючого персоналу, зручність зчитування показів приладу, енергонезалежне збереження даних;
- невеликі габаритні розміри і маса; невисока вартість;
- міжповірочний термін не більше 2 роки;
- можливість застосування приладу на фідерах, що живлять контактну мережу (з відповідним вимірювальним елементом);
- придатність для автоматизованого зняття показів в перспективі;
- опір ізоляції між колами 600 В і 24 В не менше 20 МОм.

Математичну модель, що пропонується закласти у ЛПС, можна представити у вигляді стандартної формули [31]:

$$W = UIt, \quad (2.1)$$

де W – енергія, що споживається споживачем постійного струму; U – напруга на вході кола; I – струм споживача; t – проміжок часу.

Ця математична модель реалізована у пристрої, структурна схема якого поданого на рис. 2.1 [32], де використані такі позначення: 1 – масштабний перетворювач струму $МП_I$; 2 – масштабний перетворювач напруги $МП_U$; 3 – блок живлення БЖ; 4 – перемножувач вхідних сигналів; 5 – перетворювач напруги в частоту; 6 – лічильник-дільник Л-Д; 7 – індикатор Ін.

Працює запропонований ЛПС таким чином. Значення струму I , що споживається, подається на масштабний перетворювач струму $МП_I$, на виході якого формується напруга U_I , пропорційна вхідному струму I . Напруга U цього споживача подається на масштабний перетворювач напруги $МП_U$, на виході якого, аналогічно попередньому, формується напруга U_U , пропорційна вхідній напрузі U . Сигнали U_I та U_U відповідно до виразу (2.1) перемножуються у блоці 4, на виході якого формується сигнал U_P , пропорційний спожитій потужності UI . В блоці 5 від-

бувається перетворення напруги U_p у відповідну частоту сигналу f , що подається на лічильник-дільник Л-Д, призначений для формування інтервалу часу та видачі лічильного імпульсу про спожиту енергію W . Лічильний імпульс, підсилений до необхідного рівня у тому ж блоці 6, надходить до індикатора I_n , який і видає числове значення спожитої енергії W .

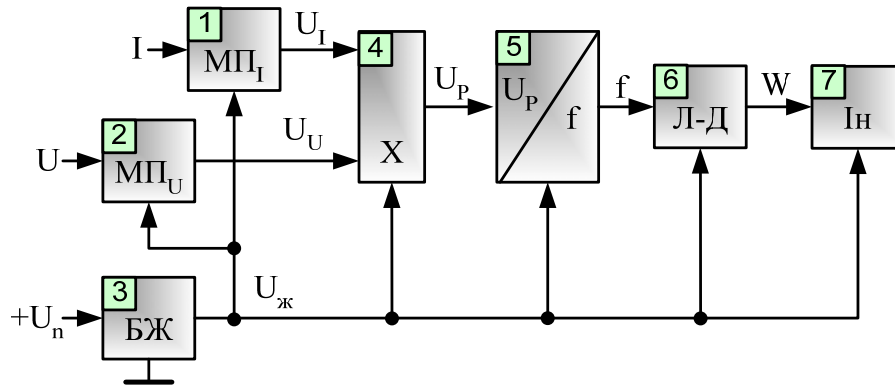


Рисунок 2.1 – Структурна схема ЛПС

Блоки 1, 2, 4–7 живляться напругою $U_{ж}$, яка подається з виходу блока живлення БЖ, на вхід якого подається деяка стала напруга $+U_n$ (24 В).

Струм I знімається із шунта 500 А (75 мВ) класу точності 0,5. Напруга U знімається із контактної мережі. Блок живлення БЖ отримує напругу із низьковольтної електричної системи трамвая.

Технічні характеристики ЛПС подані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ЛПС

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання струму, А	1...1000
Діапазон вимірювання напруги, В	100...1000
Похибка вимірювання, %	2
Напруга живлення лічильника, В	+(10...35)
Споживана потужність, Вт	0,45
Діапазон робочих температур, °С	-35...+65
Допустима відносна вологість, %	90
Поріг чутливості, мВ	2
Габаритні розміри, мм	220×100×80
Маса, кг	0,9

Схему підключення лічильника показано на рис. 2.2.

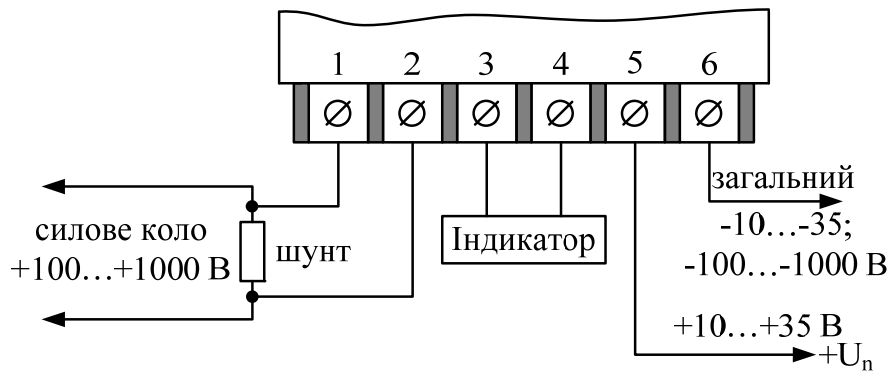


Рисунок 2.2 – Схема підключення лічильника

Впровадження ЛПС здійснено у Вінницькому комунальному підприємстві «Трамвайно-тролейбусне управління» ще в 1999 році. За цей період зібралася відповідна статистика по споживанню електроенергії трамвайним парком.

На рис. 2.3 показано тенденцію споживання електроенергії з 1995 р. Як видно, з моменту впровадження ЛПС, з 1999 р., наприклад по 2006 р, рівень електроспоживання трамваями знизився на 12,5 %. Такий спад пояснюється тим, що керівництво вказаного підприємства запровадило низку заходів щодо економії електроенергії, одним з яких є система преміювання [33].

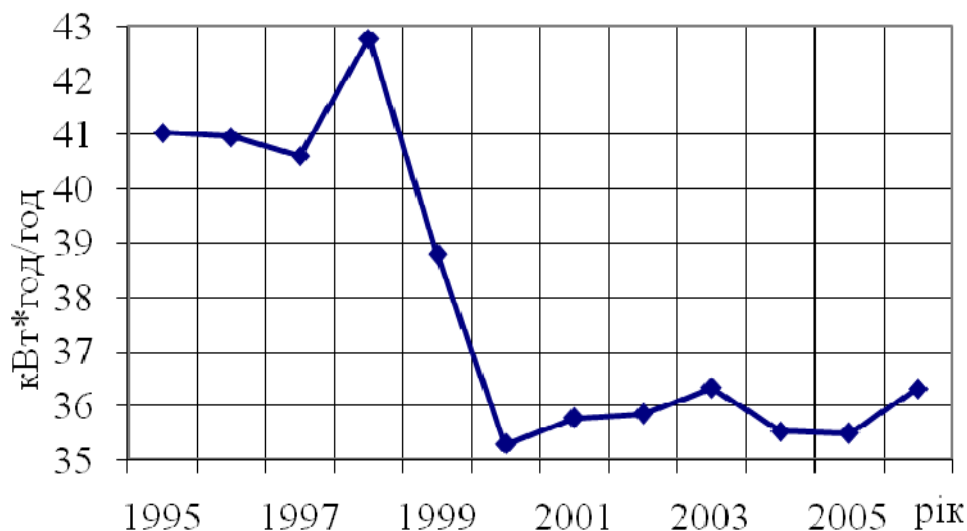


Рисунок 2.3 – Усереднене споживання електроенергії трамвайним парком Вінницького комунального підприємства «Трамвайно-тролейбусне управління» з 1995 р. по 2006 р.

2.2 Побудова емпіричного закону розподілу споживання електроенергії трамваями за годину

В роботах [19, 20] вже отримані деякі результати щодо характеру електроспоживання трамваями на маршрутах м. Вінниці. Однак вихідними даними для дослідження була статистика, зібрана в той період, коли водії трамваїв лише привчалися до економії електроенергії. Це стало можливим після вдалого впровадження системи обліку електроенергії по кожному вагону й кожному водію трамвайного депо за рахунок розміщення лічильників електроенергії безпосередньо у вагоні та преміювання кращих водіїв (трамваї яких споживали менший рівень електроенергії по відношенню до середнього по депо). За цей період процес електроспоживання суттєво змінився. Це вимагає додаткових досліджень для адекватної ідентифікації цього процесу.

Для аналізу використовуються усереднені статистичні дані споживання електроенергії трамваями типу КТ-4SU Вінницького комунального підприємства «Трамвайно-тролейбусного управління» помісячно (з 01.01.2005 р. по 31.05.2006 поживання електроенергії W трамваями за годину з конкретними значеннями w за вказаний період має такі числові значення [34]:

$$w = \{40,93; 41,87; 38,76; 32,72; 32,89; 32,31; 31,88; 32,34; 32,76; 33,18; 36,78; 40,02; 41,14; 43,11; 36,50; 34,23; 33,94\}, \quad (2.2)$$

графічну інтерпретацію яких наведено на рис. 2.4.

Виділимо інтервали з діапазону значень W з врахуванням того, щоб мінімальне значення $w_{\min} = 31,88$ попало в перший, а максимальне $w_{\max} = 43,11$ – в останній інтервали. Отриманий варіаційний ряд вибірки електроспоживання трамваями за годину наведений в табл. 2.2, в якій частота $p_{(w)_i}$ попадань випадкової величини W в кожний із шести виділених напіввідкритих інтервалів обчислена за формулою [35]:

$$p_{(w)_i} = \frac{n_{(w)_i}}{n}, \quad (2.3)$$

де n – сумарна кількість значень випадкової величини W ; $n_{(w)_i}$ – кількість значень W , які попали в σ_i напіввідкритий інтервал.

ЛІТЕРАТУРА

1. Торкатюк В. И. Исследование особенностей экономии электроэнергии при эксплуатации электрифицированного транспорта в жилищно-коммунальном хозяйстве [Электронный ресурс] / В. И. Торкатюк, А. И. Кириченко, В. В. Благой, О. В. Хомутенко, И. А. Полчанинова. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/31823/1/58.pdf>
2. Колб А. А. Використання енергії рекуперації електротранспорту для управління якістю електроенергії / А. А. Колб // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – Випуск 4(63). – Частина 1. – С. 98–102.
3. Саблін О. І. Оптимізація режимів тягового електроспоживання та рекуперації енергії в системах електричного транспорту / О. І. Саблін // Електрифікація транспорту. – 2016. – № 11. – С. 53–60.
4. Дружкова Н. Л. Вопросы энергосбережения на городском транспорте [Электронный ресурс] / Н. Л. Дружкова, В. Д. Константинов. – Режим доступа: <http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/6217/8.pdf?sequence=1>.
5. Далека В. Х. Наукові основи ресурсозбереження при експлуатації міського електричного транспорту : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : спец. 05.13.22 «Управління проектами та розвиток виробництва» / Далека Василь Хомич ; Національний транспортний університет. – К., 2005.
6. Светодиодные лампочки в трамвай для экономии энергии и денег. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://forum.tr.ru/read.php?1,962487,962510>.
7. Внутреннее светодиодное освещение для трамваев HELSINKI ARTIC – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.teknoware.com/ru/vnutrennee-svetodiodnoe-osveshchenie-dlya-tramvaev-helsinki-artic>.
8. Шибанов А. П. Мероприятия по энергосбережению в подвижном составе городского электрического транспорта [Электронный ресурс] / А. П. Шибанов // Электронный журнал «ЭНЕРГОСОВЕТ». 2011. – № 4(17). – С. 13–14. – Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=192.
9. Базарна О. Є. Проблема енергозбереження на підприємствах міського електричного транспорту [Електронний ресурс] /

О. Є. Базарна, Т. П. Юр'єва. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/30209/1/37.pdf>

10. Розводюк М. П. Перспективи розвитку нових вінницьких трамваїв [Електронний ресурс] / М. П. Розводюк // Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2015) : III Міжнародна науково-технічна конференція, (14–15 жовтня 2015 р. м. Вінниця) : тези доповідей. – Режим доступу: http://conf.vntu.edu.ua/energo/2015/Abstr_OCEI-2015.pdf

11. Мокін Б. І. Розробка розкладу руху електротранспорту / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Г. Сторчак // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 3. – С. 35–38.

12. Мокін Б. І. Розробка програми для проектування розкладу руху електротранспорту / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Г. Сторчак // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005) : VIII Міжнародної науково-технічної конференції : тези доповідей. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – С. 188.

13. Мокін Б. Програма «Розрахунок розкладу руху електротранспорту» / Б. Мокін, М. Розводюк, В. Сторчак // Інформаційні системи та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 6. – С. 30–34.

14. Мокін Б. І. До питання визначення необхідної кількості вагонів міського електротранспорту на маршруті / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Г. Сторчак // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету : наукові праці КДПУ. – Кременчук : КДПУ, 2006. – Вип. 3 (38). – Частина 2. – С. 34–36.

15. Мокін В. Б. До питань оптимізації руху міського електротранспорту / В. Б. Мокін, М. П. Розводюк, В. Г. Сторчак // Збірник праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. – С. 258–260.

16. Комп'ютерна програма для автоматизації процесу складання розкладів руху міського електротранспорту («Расрғаш») : Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 21865 / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Г. Сторчак. Дата реєстрації 30.08.2007.

17. Штанг Александр Александрович. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Александр Александрович

вич Штанг. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2006. – 233 с.

18. Муфтиев С. Р. Система стабилизации напряжения тяговых подстанций городского электротранспорта : дис. ... кандидата технических наук : 05.09.03 / С. Р. Муфтиев. – Уфа : Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2014. – 169 С.

19. Дудко В. Б. Математичні моделі емпіричних законів розподілу споживання електроенергії трамваями / В. Б. Дудко, Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 42–46.

20. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв : монографія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с.

21. Дудко В. Б. Математичні моделі прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах / В. Б. Дудко, Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 6. – С. 38–44.

22. Дудко В. Б. Математичні моделі споживання електроенергії трамваями / В. Б. Дудко, Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Техніка, 2003. – Вып. 49. – С. 184–189.

23. Корниенко В. В. Критерии качества токоъема, определяющие ресурсосбережение / В. В. Корниенко, И. В. Доманский // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 5. – С. 18–21.

24. Веклич В. Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов / В. Ф. Веклич. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

25. Сидоров О. А. Расчет взаимодействия штангового токоприемника с жестким токопроводом / О. А. Сидоров, И. Л. Саля // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 5. – С. 165–168.

26. Токошьем токоприемником железнодорожного электроподвижного состава. Показатели качества и методы их определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа до даних: http://www.vniizht.ru/files/file_260/2012-09-06/The_Standard_of_use_of_current_collection_of_railway_electric_rolling-Quality_indicators_and_methods_for_determining-24_08_2012.pdf.

27. Рекомендации по нормированию расхода электроэнергии на городском электрическом транспорте. – К. : МЖКХ УССР, 1979. – 42 с.
28. Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Метод розрахунку. Галузеві комунальні норми. – К. : Держбуд України, 2001. – 13 с.
29. Лічильник електричної енергії постійного струму: Пат. Україна, МПК G01R11/00 / В. В. Мосійчук. – №13878 ; заявлено 16.05.1994 ; опубл. 25.04.1997, Бюл. №2. – 4 с.
30. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений : ГОСТ 6962-75. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 3 с.
31. Трегуб А. П. Электротехника / под ред. Э. В. Кузнецова. – К. : Вища школа, 1987. – 600 с.
32. Пат. 26458 UA, МПК G01R 11/00. Лічильник електричної енергії постійного струму [Текст] / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u200704519 ; заявл. 23.04.2007 ; опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15. – 2 с.
33. Мокін Б. І. Розробка лічильника електроенергії постійного струму для трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КДПУ, 2007. – Вип. 3 (44). – С. 84–85.
34. Мокін Б. І. Дослідження процесу електроспоживання трамваями на маршрутах / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету : наукові праці КДПУ. – Кременчук : КДПУ, 2006. – Вип. 5 (40). – Частина 1. – С. 42–46.
35. Колде Я. К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике / Я. К. Колде. – М. : Высшая школа, 1991. – 157 с.
36. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 408 с.
37. Мокін Б. І. Математичні моделі ідентифікації електромеханічних процесів. Частина II. Ідентифікація ЕМП у лінійних стохастичних системах із зосередженими параметрами / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 99 с.

38. Комп'ютерна програма для автоматизації процесу побудови регресійних математичних моделей споживання електроенергії трамваями на маршрутах («ModelAvtoreg») : Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 16889 / Б. І. Мокін, М. П. Боцула, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко. Дата реєстрації 07.06.2006.

39. Автоматизація процесу побудови регресійних математичних моделей споживання електроенергії трамваями на маршрутах / Б. І. Мокін, М. П. Боцула, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 2(6). – С. 123–127.

40. КТ4СУ. Описание и инструкция по уходу за электрооборудованием. – СКД ПРАНА : Zavod TRAKCE, 1989. – 231 с.

41. Электрические машины : учеб. для электотехн. спец. Вузов : в 2-х ч. Ч. 2 / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1987. – 335 с.

42. Грабко В. В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, І. В. Грабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 86 с.

43. Грабко В. В. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 110 с.

44. Розводюк М. П. Електричні машини. Задачі для самостійного розв'язування : навчальний посібник / М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 65 с.

45. Розводюк М. П. Електричні машини. Контрольні завдання для студентів напрямів підготовки «Електромеханіка», «Електротехніка та електротехнології» : навчальний посібник / М. П. Розводюк, С. М. Левицький. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 108 с.

46. Розводюк М. П. Електротехніка (Електричні машини, основи електропривода, електрозабезпечення, електроніка). Контрольні та розрахунково-графічні роботи для студентів неелектротехнічних спеціальностей : навчальний посібник / М. П. Розводюк, Є. Я. Блінкін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 144 с.

47. Зниження електроспоживання трамвая КТ 4СУ за рахунок модернізації обмотки якоря двигуна двигун-генератора SMD 5001 / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко, Д. П. Проценко // Вісник Кременчуцького політехнічного університету. – 2005. – № 4. – С. 64-65.

48. Розводюк М. П. Способи зменшення втрат електроенергії трамваєм / М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – К. : Техніка, 2009. – Вып. 90. – С. 423–427.

49. Филиппов И. Ф. Основы теплообмена в электрических машинах / И. Ф. Филиппов. – Л. : «Энергия», Ленинградское отделение, 1974. – 384 с.

50. Кошкин Н. И. Справочник по элементарной физике. – 8-е изд., перераб. / Н. И. Кошкин, М. Г. Ширкевич. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.

51. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / под ред. О. Д. Гольдберга. – М. : Высш. шк., 1984. – 431 с.

52. Мокін Б. І. Спосіб економії електроенергії трамваєм КТ 4СУ в холодну пору року / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 4. – С. 50–52.

53. Розводюк М. П. Зниження електроспоживання трамвая КТ 4СУ за рахунок зміни конструкції системи опалення кабіни водія / М. П. Розводюк, В. Б. Дудко, Д. П. Проценко // Енергозбереження Поділля. – 2006. – № 1. – С. 48–50.

54. Пономарчук І. А. Вентиляція та кондиціонування повітря : навчальний посібник / І. А. Пономарчук, О. Б. Волошин. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 121 с.

55. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха / Е. Е. Карпис. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 268 с.

56. Промышленные теплообменные процессы и установки : учебник для вузов / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, О. Л. Данилов и др. ; под ред. А. М. Бакластова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

57. Розводюк М. П. До питання зменшення втрат електроенергії в пантографі трамвая / М. П. Розводюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчук : КДПУ, 2008. – Вип. 4 (51). – Частина 1. – С. 84–86.

58. Розводюк М. П. Визначення оптимального значення контактного натиску струмознімальним елементом на контактну мережу / М. П. Розводюк // Nauka i utworzenie XXI Stulecia : Teoria, Praktyka. Innowacje». (29.11.2013–30.11.2013) : zbiór raportów naukowych. – Opole : Diamond trading tour, 2013. – 124 str. – S. 22–27.

59. KT4SU [Електронний ресурс] – Режим доступу до даних: <http://depo.vn.ua/content/kt4su>.

60. T4SU. Трамвайный вагон. Описание и инструкция по уходу за электрооборудованием. – Прага : ČKD PRAHA, Závod trakce, 1977.

61. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

62. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

63. Розводюк М. П. Особливості струмознімання пантографом [Електронний ресурс] / М. П. Розводюк, І. О. Діденко // Оптиміальне керування електроустановками (ОКЕУ-2013): II Міжнародна науково-технічна конференція, 22–24 жовтня 2013 р. : тези доп. – Вінниця. – С. 86. – Режим доступу: http://conf.vntu.edu.ua/energo/2013/tezy_dopov_okey-2013.pdf.

64. Берц Ю. А. Контактная сеть : иллюстрированное пособие / Ю. А. Берц, В. Е. Чекулаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1981. – 223 с.

65. Кнерель Г. М. Учебное пособие для водителя 3 класса / Г. М. Кнерель, М. Я. Резник, М. С. Черток. – М. : МКХ РСФСР, 1962. – 380 с.

66. Розводюк М. П. Вплив факторів технічного стану транспортного засобу на витрату електроенергії / М. П. Розводюк, В. Б. Дудко // Вісник Вінницького політехнічного інститут. – 2007. – № 3. – С. 50–52.

67. А. с. 1040501 СССР, МКИ G 07 C 5/08. Устройство для контроля и регистрации параметров работы локомотива / С. Н. Басович, А.Ф. Кукольников (СССР). – №3402544/18-24 ; заявлено 24.02.82 ; опубл. 07.09.83, Бюл. № 33. – 2 с.

68. А. с. 1446638 СССР, МКИ G 07 C 5/08. Устройство для контроля работы транспортных средств / В. Н. Дащук, С. Н. Демиденко, В. И. Петько, А. П. Струков, П. М. Чеголин (СССР). – №4137596/24-24 ; заявлено 20.10.86 ; опубл. 23.12.88, Бюл. № 47. – 7 с.

69. Розводюк М. П. До питання контролю та реєстрації параметрів роботи трамвая / М. П. Розводюк, К. В. Барбалат // Електромеханічні і енергозберігаючі технології. – 2007. – Випуск 2 (2). – С. 65–66.

70. Розводюк М. П. Спосіб зменшення втрат електроенергії трамвая / М. П. Розводюк, В. С. Бомбик // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць

VII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 08–09 квітня 2010 р. – Кременчук : КДУ, 2010. – С. 513–514.

71. Мокін Б. І. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами електродвигунами постійного струму : монографія / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 92 с.

72. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 с.

73. Розводюк М. П. Пристрій для оптимального струмознімання пантографом трамвая / М. П. Розводюк, Д. Ф. Дворніцький // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць IX Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 07–08 квітня 2011 р. – Кременчук : КНУ, 2011. – С. 285–286.

74. Розводюк М. П. До питання зменшення втрат електроенергії трамваем / М. П. Розводюк // Сталій розвиток міст. Електричний транспорт – перспективи розвитку та кадрове забезпечення : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Харків : ХНАМГ, 2009. – С. 41–44.

75. Розводюк М. П. Пристрій для оптимального струмознімання пантографом трамвая / М. П. Розводюк, Л. А. Устяк // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць VII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 08–09 квітня 2010 р. – Кременчук : КДУ, 2010. – С. 511–512.

76. Пат. 52718 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального натиску струмоприймача трамвая / М. П. Розводюк, Ю. В. Шевчук, В. С. Бомбик, Л. А. Устяк (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201001308 ; заявл. 08.02.2010 ; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17. – 4 с.

77. Пат. 63947 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального натиску струмоприймача на контактну мережу / М. П. Розводюк, В. С. Бомбик, Л. А. Устяк (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201103777 ; заявл. 29.03.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. – 4 с.

78. Пат. 67828 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального натиску пантографа трамвая на контактну мережу /

М. П. Розводюк, В. С. Бомбик, Л. А. Устяк (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – №u 2011 08773 ; заявл. 12.07.2011 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. – 6 с.

79. Пат. 97875 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального натиску пантографом на контактну мережу / Розводюк М. П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 2014 10922; заявл. 06.10.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 7 с.

80. Пат. 97873 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального натиску струмоприймачем на контактну мережу / Розводюк М. П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 2014 10920 ; заявл. 06.10.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 7 с.

81. Пат. 97874 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для забезпечення оптимального струмознімання / Розводюк М. П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 2014 10921; заявл. 06.10.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 7 с.

82. Пат. 97871 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для підтримання оптимального струмознімання пантографом / Розводюк М.П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 2014 10917 ; заявл. 06.10.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 7 с.

83. Пат. 97872 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для забезпечення оптимального натиску пантографом на контактну мережу [Текст] / Розводюк М. П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u 2014 10918 ; заявл. 06.10.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7. – 7 с.

84. Пат. 91863 UA, МПК В60L 5/00. Пристрій для забезпечення оптимального натиску струмоприймачем на контактну мережу / Розводюк М. П. (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № а 2013 14336 ; заявл. 09.12.2013 ; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14. – 8 с.

85. Пат. 37416 UA, МПК G07C 5/00. Пристрій для контролю та реєстрації параметрів роботи трамвая / М. П. Розводюк, К. В. Барбалат (Україна), заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u200808309 ; заявл. 20.06.2008 ; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 3 с.

Наукове видання

Розводюк Михайло Петрович

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТРАМВАЯМИ

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено М. Розводюком

Підписано до друку 28.11.2017 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 5,43.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2017-31

Вінницький національний технічний університет,

ІРВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

press.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.