

УДК 621.316:656.072.6

ЗВ'ЯЗОК ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАНОЇ ТРОЛЕЙБУСОМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ІЗ ПЕРЕВЕЗЕНОЮ КІЛЬКІСТЮ ПАСАЖИРІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАРШРУТУ

В.В. Аулін, проф., к.ф.-м.н., І.О. Плохов, асп., Д.В. Голуб, к.т.н.,
Кіровоградський національний технічний університет

Анотація. Встановлено відповідність потужності споживаної троллейбусом електроенергії перевезеній ним кількості пасажирів. У дослідженні також враховано характеристики маршруту для уточнення зв'язку між витратами потужності і пасажиропотоком.

Ключові слова: потужність, споживана електроенергія, міський електротранспорт, моніторинг, пасажирські перевезення, характеристика маршруту.

СВЯЗЬ МОЩНОСТИ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ТРОЛЛЕЙБУСОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПЕРЕВЕЗЕННЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПАССАЖИРОВ И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МАРШРУТА

В.В. Аулин, проф., к.ф.-м.н., И.О. Плохов, асп., Д.В. Голуб, к.т.н.,
Кировоградский национальный технический университет

Аннотация. Установлено соответствие мощности потребляемой троллейбусом электроэнергии перевезенному им количеству пассажиров. В исследовании также учтены характеристики маршрута для уточнения связи между расходами мощности и пассажиропотока.

Ключевые слова: мощность, потребляемая электроэнергия, городской электротранспорт, мониторинг, пассажирские перевозки, характеристика маршрута.

CONNECTION OF POWER OF CONSUMABLE ELECTRICITY BY TROLLEYBUS WITH THE TRANSPORTED AMOUNT OF PASSENGERS AND DESCRIPTIONS OF ROUTES

V. Aulin, Prof., Ph. D. (Phys.-Math.), I. Plokhov, P.G., D. Golub, Ph. D. (Eng.),
Kirovohrad National Technical University

Abstract. The accordance of power to consumable electricity power by a trolleybus to the amount of passengers transported is determined. In the given research there taken into account the descriptions of the route for clarification of connection of power expense and passenger transportations.

Key words: power, consumable, municipal electric transport, monitoring, passenger transportations, route.

Вступ

Електроенергія є однією з найбільш суттєвих складових експлуатаційних витрат підприємств міського електротранспорту. У зв'язку з цим важливого значення набуває правильне планування витрат електроенергії, в основі якого лежать норми її споживання за різними

складовими. Основним споживачем електроенергії на підприємствах міського електротранспорту є рухомий склад (90–95 %). Решта електроенергії витрачається в депо, в майстернях, різними механізмами і машинами під час їх ремонту та інших технологічних потребах [1].

Норма витрати електричної енергії – це плановий показник її питомого споживання. Як показник питомої витрати електроенергії доцільно застосовувати витрату електроенергії кВт-год на 1000 км транспортної роботи. Цей показник точно відображає енергетичні витрати на рух рухомого складу (РС) і на витрати електроенергії на більшість інших процесів в експлуатації.

Нормуванню мають підлягати усі витрати електричної енергії виробничо-експлуатаційних потреб, пов'язаних безпосередньо з перевезенням пасажирів, експлуатацією рухомого складу, систем електропостачання. Нормування електроенергії є однією зі складових роботи з її економії та ефективності використання електротранспорту.

Порівняння планових витрат з фактичними дозволяє проаналізувати і виявити напрями підвищення ефективності роботи електротранспорту з перевезення пасажирів, раціонального розподілу пасажиропотоків та рухомого складу по маршрутній мережі міста.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є підвищення ефективності споживання електроенергії міським електротранспортом відповідно до кількості перевезених пасажирів. Для досягнення поставленої мети пропонується встановити відповідність потужності споживаної тролейбусом електроенергії перевезеній кількості пасажирів та характеристиками маршруту.

Аналіз публікацій

Для вирішення питань зниження споживаної потужності та визначення необхідної потужності необхідно провести, в першу чергу, дослідження якісної структури споживачів електроенергії, а потім цілеспрямовано діяти на споживачів з метою зниження значень потужності й електроспоживання міським електротранспортом, наприклад, тролейбусами. Зазначене свідчить про необхідність створення системи моніторингу електроспоживання і потужності на підприємствах міського електротранспорту.

Така система моніторингу на сьогодні відсутня. ТОВ «Слисаветградська транспортна компанія» (м. Кіровоград) веде облік споживання електроенергії з точки зору фінансових розрахунків, а дані з фактичної потужності

кожного споживача (тролейбуса) у години максимуму енергоспоживання і пасажиропотоків та в інші періоди доби практично відсутні. Енергетичні обстеження на рівні РС не проводилися, і порівняльний аналіз даних не систематизувався і не зіставлявся. Тому є необхідність створення інформаційної системи, в яку були б внесені основні параметри електроспоживання (у тому числі потужність) по РС підприємства.

Потребує створення і база даних підприємства з використання електроенергії РС в цілому. У базу необхідно включати показники, необхідні для порівняльного аналізу, контролю, нормування і прогнозу, за кожним з тролейбусів підприємства.

До першої групи показників, пов'язаних зі споживанням енергоресурсів, включаються дані про фактичне споживання усіх енергоресурсів кожним тролейбусом. На першому етапі збирається інформація енергозатрат у години-пік, що є достатнім для первинного аналізу і розробки рекомендацій. Надалі збір даних повинен йти систематично, з оптимальним періодом обстеження і охоплення всього парку РС [1, 2].

Зазначимо, що відомості про споживання енергоресурсів самі по собі не дозволяють дійти висновків про ефективність їх використання, а тому у базі даних потрібна і друга група показників, що характеризують роботу РС. Так, наприклад, для тролейбуса це – кількість перевезених пасажирів, пасажиропотік та ін. Ці показники умовно називаються «технологічними», і за ними можна встановлювати нормативи витрати енергоресурсів. Створення бази даних – непросте, але украй необхідне завдання, без якого не можливе реальне здійснення енергозбереження. Частина даних може бути надана підприємством, наприклад, ТОВ «Слисаветградська транспортна компанія», але повні відомості, і особливо за «технологічними» показниками, можуть бути отримані тільки безпосередньо на транспортних засобах (ТЗ). У зв'язку з цим важливо провести анкетування виділеної групи об'єктів, і роботу цю слід робити постійно, щоб поповнювати базу даних.

Проведення моніторингу дозволить:

1. Визначити за нормативним принципом потенціал реального енергозбереження як для окремого ТЗ, так і за групами однотипних споживачів.

2. Здійснювати контроль за ефективністю використання споживаних ресурсів, організувати енергетичні обстеження, в першу чергу в ТЗ із максимальним споживанням [3].
3. Управляти процесом енергозбереження і регулювання максимуму навантаження, посилюючи нормування і поєднуючи його з ціновою і податковою політикою.
4. Організувати статистичний облік результатів енергозбереження.

Способи обліку витрат електричної енергії РС міського електротранспорту

Обліком витрат електроенергії займалися Б.І. Грубер, В.А. Коровін, А.Г. Тішунов [4]. Вони проводили його шляхом вимірювання електричної потужності навантаження, перетворення сигналу електричної потужності в імпульсний сигнал із частотою дотримання імпульсів, пропорційною електричній потужності, а також підрахунку і реєстрації кількості цих імпульсів на транспортній одиниці (трамваї або тролейбусі).

Пристрій для реалізації цього способу містить перемножувач вхідної напруги і струму навантаження, перетворювач вихідного сигналу перемножувача в частоту, а також відліковий пристрій, що включає кроковий двигун і роликівий рахунковий механізм.

У відомому технічному рішенні вимірювання і реєстрація витрати електричної енергії здійснюються безпосередньо на транспортній одиниці [4], що не дає можливості здійснити індивідуальну об'єктивну оцінку витрати і економії електроенергії кожним водієм і відповідно ввести систему матеріальної зацікавленості водіїв в економії електроенергії.

Зазначеного недоліку не має запропонований спосіб обліку витрати електричної енергії на рухомому складі електричного транспорту шляхом вимірювання електричної потужності, споживаної тяговими електродвигунами ТЗ, перетворення сигналу електричної потужності в імпульсний сигнал із частотою дотримання імпульсів, пропорційною електричній потужності, підрахунку кількості цих імпульсів на ТЗ з одночасним формуванням сигналу управління рухом, а також подальшого отримання даних про витрату електричної енергії шляхом реєстрації підрахованої кількості імпульсів в депо або реєстраційному пункті.

Пристрій для реалізації відомого способу (лічильник ват-годин постійного струму для РС електричного транспорту) містить вимірювальний перетворювач, знімний відліковий блок, що включає кроковий двигун, роликівий рахунковий механізм і електричний роз'єм, що забезпечує з'єднання відлікового блока і вимірювального перетворювача, причому електричний роз'єм на відліковому блоці містить контактну перемичку, яка комутує живлення у схемі управління ТЗ.

У способі і пристрої, що реалізує його, забезпечується індивідуальний облік витрати електроенергії при роботі ТЗ із кожним водієм за рахунок застосування індивідуальних знімних відлікових блоків, реєстрація свідчень яких здійснюється не водієм на ТЗ, а в депо або іншому реєстраційному пункті.

При цьому для виключення неврахованої витрати електроенергії здійснюється блокування руху трамвая або тролейбуса при знятому відліковому блоці. Це дозволяє отримати високу достовірність реєстрації показань лічильника за рахунок виключення суб'єктивного чинника – умисного зняття водієм відлікового блока під час руху транспортної одиниці, з метою отримання фіктивної економії електроенергії.

Проте введення заборони руху при знятому відліковому блоці знижує експлуатаційну надійність ТЗ. Втрата або вихід з ладу відлікового блока, а також вихід з ладу ланцюгів управління рухом у лічильнику електроенергії призводять до збоїв у русі ТЗ на маршруті.

Крім того, неможливість руху ТЗ без відлікового блока зумовлює необхідність застосування додаткових відлікових блоків перегінниками ТЗ, що є незручним в експлуатації і призводить до дорожчання системи обліку витрати електроенергії.

Обґрунтування та методика визначення залежності потужності споживаної тролейбусом електроенергії від перевезеної кількості пасажирів і характеристик маршруту

Основні показники роботи тролейбуса, такі як швидкість руху ТЗ на перегонах, кількість включень тягового двигуна (ТД), напруга та сила струму в мережі, знімалися обліковцем з панелі приладів. Результати зводилися в

таблицю, а також фіксувалися відеореєстратором (рис. 1) [5, 6].



Рис. 1. Панель приладів тролейбуса ЮМЗ-Т2

Поряд з дослідженням витрати потужності споживаної тролейбусом електроенергії проводився й облік пасажиропотоку [8]. Специфіку послуг міського пасажирського транспорту багато в чому визначає характер попиту на них [7]. При цьому процес надання транспортних послуг пасажиром є основою формування пасажиропотоків у місті. Пасажиропотоки, у свою чергу, є результатом задоволення попиту населення на транспортні пересування [9].

На міському пасажирському транспорті в основному застосовують такі методи обстеження пасажиропотоків: звітно-статистичний, таблично-опитовий, рахунково-табличний, талонний, анкетний. Таблично-опитовий метод обстеження використовується обліковцями, які розташовуються усередині тролейбуса біля кожних дверей. Окрім даних, що забезпечуються підрахунком пасажирів, цей метод дозволяє додатково отримати відомості про кореспонденції поїздок пасажирів між зупинними пунктами, дані про їх пересадки на інший вид транспорту або маршрут, а також відомості про своєчасність здійснення перевезень. Цей метод краще використовувати при обстеженні на довгих маршрутах.

Паралельно проведені дослідження дають змогу співставити дані та отримати результати залежності потужності споживаної тролейбусом електроенергії від перевезеної кількості пасажирів [10, 12]. Для більш точного результату необхідно враховувати й характеристики маршруту (спуски, підйоми). За результатами досліджень, на прикладі тролейбусного маршруту №10, можна бачити, що не всі ділянки маршруту мають прямолінійний характер (рис. 2) [11].



Рис. 2. Зміна висоти дорожнього покриття над рівнем моря за тролейбусним маршрутом №10 (м. Кіровоград)

Середню споживану потужність можна визначити за показниками роботи тролейбуса на перегонах (кількість ввімкнень ТД, сила струму, напруга) за формулою

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ij} U n_{ij} \Delta t}{\sum_{i=1}^n n_{ij} \Delta t}, \quad (1)$$

де I_{ij} – сила струму; U – напруга; n_{ij} – кількість ввімкнень тягового двигуна (ТД); $\bar{\Delta t}$ – середній час ввімкнення ТД. $\bar{\Delta t} = 4$ с = const, що дозволяє переписати формулу (1) так

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ij} U n_{ij}}{\sum_{i=1}^n n_{ij}}. \quad (2)$$

Для урахування характеру споживання потужності тролейбуса на ділянках з істотним кутом нахилу слід розглянути фізичну задачу про рух ТЗ на схилах підйому і спуску (рис. 3, рис. 4).

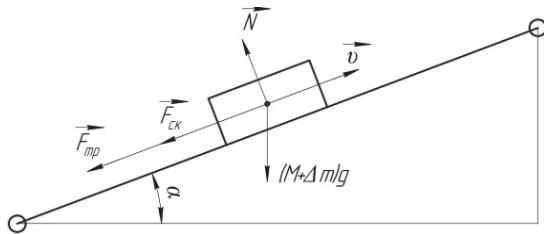


Рис. 3. Схема руху тролейбуса на підйом

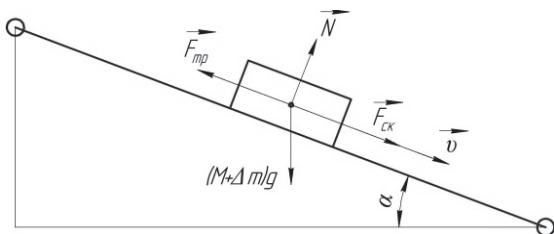


Рис. 4. Схема руху тролейбуса на спуск

На рис. 3 та 4 введено такі умовні позначення: Δm – маса пасажирів, що перевозяться; M – маса тролейбуса; $F_{ск}$ – скочувальна сила; $F_{тр}$ – сила тертя; v – швидкість руху тролейбуса.

Маса пасажирів, яких тролейбус перевозить, визначається за формулою

$$\Delta m = \bar{m}_ч \cdot N_n, \quad (3)$$

де $\bar{m}_ч$ – середня маса одного пасажиря (75 кг); N_n – кількість пасажирів у салоні тролейбуса.

Скочувальна сила та сила тертя визначаються за формулами

$$F_{ск} = (M + \Delta m)g \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

$$F_{тр} = (M + \Delta m)g \cdot \cos \alpha \cdot f_{тр}, \quad (5)$$

де M – маса тролейбуса (11640 кг).

Рівняння споживаної потужності тролейбусом на перегонах має вигляд

$$\sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i \cdot n = F_{ск} \cdot L_{ij} + F_{тр} \cdot L_{ij} + \frac{(M + \Delta m)v_i^2}{2}. \quad (6)$$

Формула споживаної енергії тролейбуса, що рухається на підйом, має вигляд

$$P_{\Sigma} \Delta t = f_{тр} (M + \Delta m)g \cdot \cos \alpha \cdot L_j + (M + \Delta m)g \cdot \sin \alpha \cdot L_j + \frac{(M + \Delta m)v_j^2}{2}. \quad (7)$$

На спуск

$$P_{\Sigma} \Delta t = f_{тр} (M + \Delta m)g \cdot \cos \alpha \cdot L_j - (M + \Delta m)g \cdot \sin \alpha \cdot L_j + \frac{(M + \Delta m)v_j^2}{2}. \quad (8)$$

Результати експериментальних досліджень

Дані дослідження пасажиропотоку, зібрані обліковцем, що знаходився в салоні тролейбуса, заносяться в таблицю. З попередніх даних розраховується кількість пасажирів, що знаходяться у салоні тролейбуса на перегонах, і визначається пасажиропотік.

Графічне відображення результатів дослідження пасажиропотоку наведено на рис. 5, 6. Зміну витрати споживаної потужності тролейбусом на перегонах по маршруту № 10 (м. Кіровоград) наведено на рис. 7 та 8.

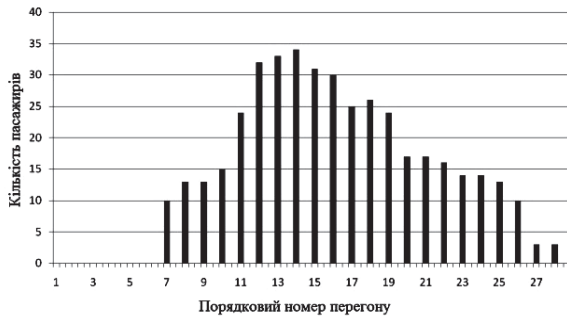


Рис. 5. Пасажиропотік у прямому напрямку руху маршрутом № 10

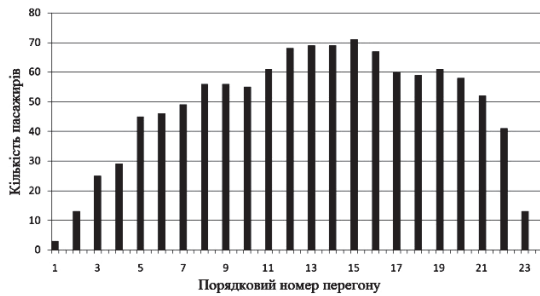


Рис. 6. Пасажиропотік у зворотному напрямку руху маршрутом № 10

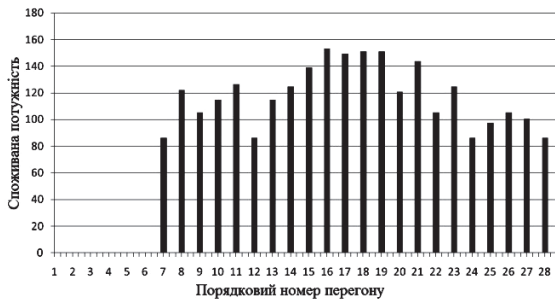


Рис. 7. Витрати потужності на перегонах у прямому напрямку руху маршрутом № 10

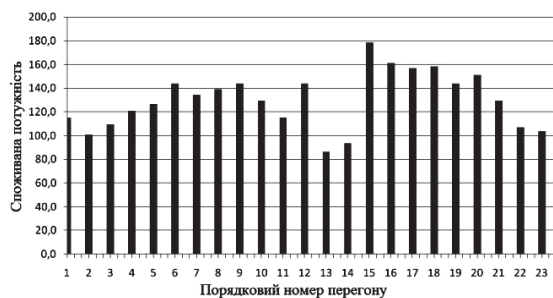


Рис. 8. Витрати потужності на перегонах у зворотному напрямку руху маршрутом № 10

На рис. 9 та 10 графічно зведено залежності витрати споживаної потужності та кількості перевезених пасажирів на перегонах.

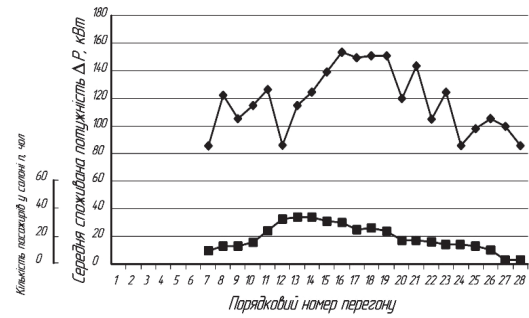


Рис. 9. Порівняльний характер залежності витрати потужності та кількості перевезених пасажирів на перегонах у прямому напрямку руху маршрутом № 10

З рис. 9 бачимо, що на ділянці 11–13 відбувається різкий спад витрати потужності, незважаючи на збільшення кількості пасажирів у салоні тролейбуса. Це означає, що тролейбус рухається на спуск.

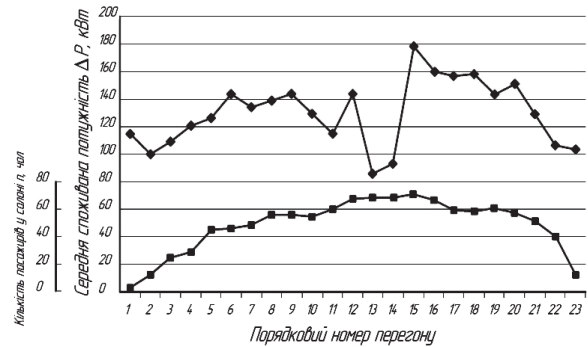


Рис. 10. Порівняльний характер залежності витрати потужності та кількості перевезених пасажирів на перегонах у зворотному напрямку руху маршрутом № 10

Таку ж тенденцію можна бачити на ділянці 12–14 (рис. 10). Але на ділянці 12–17 (рис. 9) спостерігається різке збільшення витрати потужності, незважаючи на зменшення кількості пасажирів у салоні; на рис. 10 така тенденція спостерігається на ділянках 13–16. З цього можна зробити висновок, що тролейбус рухається на підйом. Для отримання більш чіткого відображення залежності споживаної тролейбусом електроенергії від кількості перевезених пасажирів необхідно взяти до уваги характеристики маршруту (зміну висоти над рівнем моря, дорожнє покриття, відстань між ділянками). За допомогою формул (7) і (8) збалансуються витрати потужності під час руху тролейбуса на підйом та спуск, що дозволяє отримати більш чітке відображення залежності споживаної тролейбусом електроенергії з урахуванням перевезених пасажирів та характеристик маршруту. Результати обробки

перелічених вище даних відображені графічно на рис. 11 та 12.

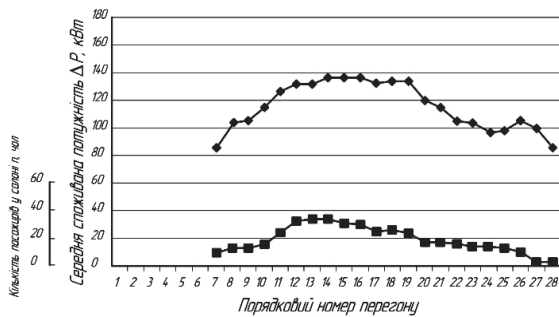


Рис. 11. Уточнений порівняльний характер залежності витрат потужності відповідно до кількості перевезених пасажирів і характеристик маршруту №10 на перегонах у прямому напрямку руху

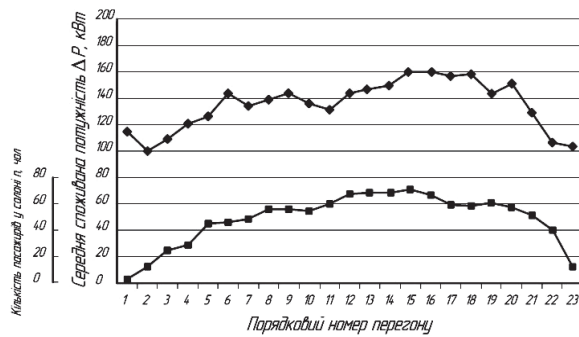


Рис. 12. Уточнений порівняльний характер залежності витрат потужності відповідно до кількості перевезених пасажирів і характеристик маршруту №10 на перегонах у зворотному напрямку руху

Висновки

Проблема ефективності споживання електроенергії міським електротранспортом та оптимальної кількості перевезених пасажирів є, безумовно, актуальною. Для розробки ефективних заходів зі зниження споживаної потужності РС необхідно провести дослідження якісної структури споживачів електроенергії в містах та вибір критеріїв її ефективності. Перспективним є створення системи моніторингу електроспоживання на підприємствах міського електротранспорту.

Розгляд способів обліку витрат електроенергії РС міського електротранспорту показав, що дослідники його проводять шляхом вимірювання електричної потужності навантаження, перетворення сигналу електричної потужності в імпульсний сигнал із частотою дотримання імпульсів, пропорційною елект-

ричній потужності, а також підрахунку і реєстрації кількості цих імпульсів на транспортній одиниці (трамваї або тролейбусі). Це призводить до неможливості руху транспортної одиниці без відлікового блока та зумовлює необхідність застосування додаткових відлікових блоків перегінниками транспортних одиниць, що викликає істотні незручності в експлуатації і призводить до дорожчання системи обліку витрати електроенергії.

Розроблено методику визначення залежності потужності споживаної тролейбусом електроенергії від кількості перевезених пасажирів.

З отриманих результатів проведеного дослідження дійшли висновку, що споживання електроенергії рухомим складом підприємств міського електротранспорту прямо пропорційно залежить від кількості перевезених пасажирів та характеристик маршруту.

Література

1. Аулін В.В. Якість перевезень пасажирів як невід’ємна частина транспортного процесу / В.В. Аулін, Д.В. Голуб // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – 2008. – №5(52), Ч. 2. – С. 80–84.
2. Аулін В.В. Оцінка якості міських пасажирських перевезень в ринкових умовах / В.В. Аулін, Д.В. Голуб // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту.: зб. тез доповідей IV Міжнар. науково-практичної конференції 25–26 жовтня, 2011. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С.10–11.
3. Аулін В.В. Теоретичні передумови підвищення надійності системи «контактна підвіска – струмоприймач» зменшенням інтенсивності зношування її елементів / В.В. Аулін, М.І. Черновол, Д.М. Барановський // Вісник інженерної академії України. – 2007. – №2. – С. 56–65.
4. Пат. 2140654 Российская Федерация G01R11/00, B60L3/00. Способ учета расхода электрической энергии на подвижном составе электрического транспорта и электронный счетчик для его реализации / Б.И. Грубер; В.А. Коровин; А.Г. Тишунов; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное

- предприятие «Резонанс»; заявл. 96121499/09; – 30.10.1996; – опубл. 27.10.1999.
5. Атаманов Ю.Е. Троллейбус. Теория, конструирование, расчет / Ю.Е. Атаманов, А.И. Сафонов. – Мн.: Ураджай, 1999. – 342 с.
 6. Хорошилов В.П. Обеспечение долговечности и безопасности эксплуатации электрооборудования троллейбусов / В.П. Хорошилов, В.И. Емец // Вестник ГЭТ России. – 2000. – № 6. – С. 24–25.
 7. Захаров С.А. Анализ и оценка мероприятий повышения эффективности и безопасности работы троллейбуса в зимний сезон 1999–2000 гг. / С.А. Захаров // Вестник ГЭТ России. – 2000. – № 3. – С. 9–13.
 8. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов / М.Е. Корягин. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.
 9. Поначугин В.А. Оценка надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта: монография / В.А. Поначугин. – Н.-Новгород: Нижегород. Гос. архит.-строит. ун. т, 2008. – 92 с.
 10. Далека В.Х. Електропостачання електричного транспорту: навч. посібник / В.Х. Далека, В.К. Нем, В.І. Скуріхін; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 168 с.
 11. Исследование особенностей экономии электроэнергии при эксплуатации электрифицированного транспорта в жилищно-коммунальном хозяйстве / В.И. Торкатюк, А.И. Кириченко, В.В. Благой и др. // Проблемы, перспективы и нормативно-правовое обеспечение энерго-, ресурсосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве, 2009. – С. 93–96.
 12. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либерман, И.В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.

Рецензент: П.Ф. Горбачов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 25 квітня 2014 р.
