

## ЩОДО ПИТАННЯ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*На даний час відсутні нормативно-правові акти або науково обґрунтовані методики нормування витрати електроенергії електробусами під час їх експлуатації на міських маршрутах. В роботі проаналізовано існуючі моделі витрати електроенергії електробусом, що можуть використовуватись для її нормування, та визначено основні фактори, що впливають на витрату електроенергії електробусом під час експлуатації на міських маршрутах.*

**Ключові слова:** електробус, нормування витрати електроенергії, міський маршрут, умови експлуатації, експлуатаційні фактори.

### *Abstract*

*At the moment, there are no normative legal acts or scientifically based methods for regulating electricity consumption by electric buses during their operation on city routes. The paper analyzes the existing models of electricity consumption by electric buses that can be used for its regulation, and identifies the main factors that affect electricity consumption by electric buses during operation on city routes.*

**Keywords:** electric bus, regulation of electricity consumption, city route, operating conditions, operational factors.

Одним із основних напрямків розвитку міського пасажирського транспорту зокрема, як і автомобільного транспорту в цілому, є підвищення його екологічності. Серед можливих напрямків вирішення цієї проблеми найбільш перспективним є введення в експлуатацію електротранспорту і, зокрема, електробусів. Електробусом, згідно [1], називають автобус, оснащений виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома) та системою акумуляування електричної енергії (акумуляторною батареєю). Переваги електробуса перед автобусом з двигуном внутрішнього згоряння – екологічність у зоні експлуатації, перед тролейбусом – автономність, мобільність та маневреність. На сьогоднішній день частка електробусів в світовому автобусному парку інтенсивно зростає. Переважно приріст забезпечений активним виробництвом та експлуатацією цих транспортних засобів у Китаї. В Україні впровадження електробусів стримується високою вартістю електробусів, вартістю створення зарядної інфраструктури, технічними обмеженнями існуючих моделей та відсутністю нормативно-правових актів у сфері їх експлуатації. Під час введення електробусів в експлуатацію виникають проблеми формування раціональної зарядної інфраструктури з урахуванням техніко-експлуатаційних характеристик маршруту. Необхідно, дотримуючись розкладу руху транспортних засобів, надати технологічні перерви для підзарядки тягових акумуляторних батарей та обов'язкові перерви для відпочинку водія. При цьому, у разі раціональної організації процесу вони можуть бути поєднані. Вирішення цього завдання практично потребує розробки процедур обліку та нормування витрати електроенергії електробусом з урахуванням умов його експлуатації.

У ході аналізу чинних нормативно-правових актів та наукових досліджень не виявлено процедур нормування витрати електроенергії для електробусів, проте вони необхідні для обґрунтування вибору раціонального міського маршруту та розташування на ньому зарядної інфраструктури (за потреби). В даний час витрата електроенергії електробусом визначається на основі даних виробника про ємність тягових акумуляторних батарей і запасу ходу, встановленому за певним їздовим циклом, що не враховує реальні умови експлуатації. Як зазначено вище, через відсутність нормативно-правових актів чи методичних рекомендацій, що дозволяють скоригувати це значення, виникають труднощі з вибором маршруту для експлуатації електробуса та організації на ньому зарядної інфраструктури.

Існуючі підходи розробки моделей витрати електроенергії електробусом можна розділити на кілька типів:

- 1) моделі, засновані на дорожніх та транспортних умовах експлуатації;
- 2) моделі, засновані на показниках роботи електродвигуна та системи зберігання електричної енергії [2, 3].

На практиці застосування моделей, що відносяться до другої групи, є досить складним для процедур нормування, що обумовлено особливостями їх розробки. Як фактор оцінки зазвичай розглядається миттєва швидкість руху транспортного засобу, яка визначає показники роботи систем транспортного засобу і відповідно потужність, споживану електродвигуном. Як результат, для визначення норми витрати електроенергії електробусом на певному маршруті необхідно зчитувати їздовий цикл руху транспортного засобу, що є трудомістким процесом. Дані моделі зазвичай застосовуються для розрахунку ресурсу тягових акумуляторних батарей, виявлення оптимальної швидкості руху транспортного засобу на перегонах та визначення характеристик силової установки.

У ході аналізу літературних джерел [4-6] щодо моделювання витрати електроенергії електробусом встановлено, що найбільш значимі фактори такі ж, як і у випадку нормування витрати палива міськими автобусами, а саме техніко-експлуатаційні показники маршруту (середня швидкість на маршруті, кількість зупинок, середня довжина перегону, середній час простою на зупинках, коефіцієнт непрямолінійності маршруту), наповненість електробуса, вплив ухилу дороги та роботи допоміжного обладнання тощо.

Температура навколишнього повітря також є дуже важливим фактором, адже визначає кількість теплоти, яку необхідно підвести або відвести від тягової акумуляторної батареї та із салону електробуса. Тому дана величина впливає на кількість енергії, що споживається системою підтримання температурного режиму акумуляторних батарей та установкою клімат-контролю, якими обладнані електробуси.

Витрата електроенергії електробусом на міському маршруті залежить від технічних і конструкційних характеристик транспортного засобу, а також умов експлуатації, що відносяться до зовнішнього середовища. Сумарна витрата електроенергії електробусом на міському маршруті складається з декількох складових, величина яких визначається енергією, необхідною для роботи окремих вузлів електробуса. Основна кількість електроенергії споживається електродвигуном і перетворюється на механічну енергію шляхом обертання ротора електричної машини. Однак при цьому необхідно враховувати наявність втрат енергії у тяговому інверторі та в самому двигуні. Далі механічна енергія передається через трансмісію до коліс, і перетворюється на силу тяги, яка рухає транспортний засіб.

Для руху електробуса необхідно подолати сили опору руху, що визначаються особливостями режиму руху. Так при русі з постійною швидкістю діють сили опору коченню та аеродинамічного опору, величина яких залежить від технічних та конструкційних характеристик транспортного засобу, а також швидкості руху, стану і типу дорожнього покриття. За наявності ухилу дорожнього полотна на маршруті виникає додаткова сила опору руху на підйом, що визначається кутом ухилу дорожнього полотна та масою транспортного засобу. При прискоренні також виникає сила опору розгону, що залежить від технічних характеристик транспортного засобу та величини прискорення. Таким чином визначальними факторами витрати електроенергії тяговим електродвигуном є стан та тип дорожнього покриття, кут ухилу дорожнього полотна, а також швидкість руху і величина прискорення. Останні два фактори визначаються кількістю зупинок, світлофорів, перетинів, поворотів на маршруті тощо.

У процесі експлуатації електробуса на міському маршруті енергія з тягової акумуляторної батареї також витрачається на роботу допоміжного обладнання, до якого відноситься система рульового керування, бортового і салонного освітлення, склоочисники, бортова електроніка, установка клімат-контролю салону та система підтримання температурного режиму тягових акумуляторних батарей. При цьому останні дві системи найбільше впливають на витрату електроенергії електробусом, оскільки вони в роботу включені на тривалій період і мають значну потужність споживання. Кількість енергії, яку споживає установка клімат-контролю салону, залежить від кількості теплоти, яку необхідно відвести з салону або підвести до нього, що визначається різницею температур в салоні транспортного засобу і навколишнього повітря. На електробуси опціонально може встановлюватись дизельна система підігріву, що дозволяє знизити витрати електроенергії та зберегти величину пробігу на одному заряді в зимових умовах.

Кількість енергії, яку споживає система підтримки температурного режиму тягових акумуляторних батарей, також залежить від їх температури, на величину якої впливає не тільки

температура навколишнього повітря, але також і режим руху транспортного засобу. Так, наприклад, прискорення електробуса призводить до збільшення споживаного струму тяговим електродвигуном, а отже і до більшого нагріву тягових акумуляторних батарей.

Крім того, при розробці методики нормування витрати електричної енергії необхідно враховувати здатність електричного транспортного засобу до рекуперації кінетичної енергії в процесі гальмування з можливістю використання цієї енергії для підзаряджання акумуляторної батареї.

Результати аналізу та систематизації впливу основних факторів на витрату електроенергії електробусом на міському маршруті представлено у вигляді структурно-логічної схеми на рис. 1.

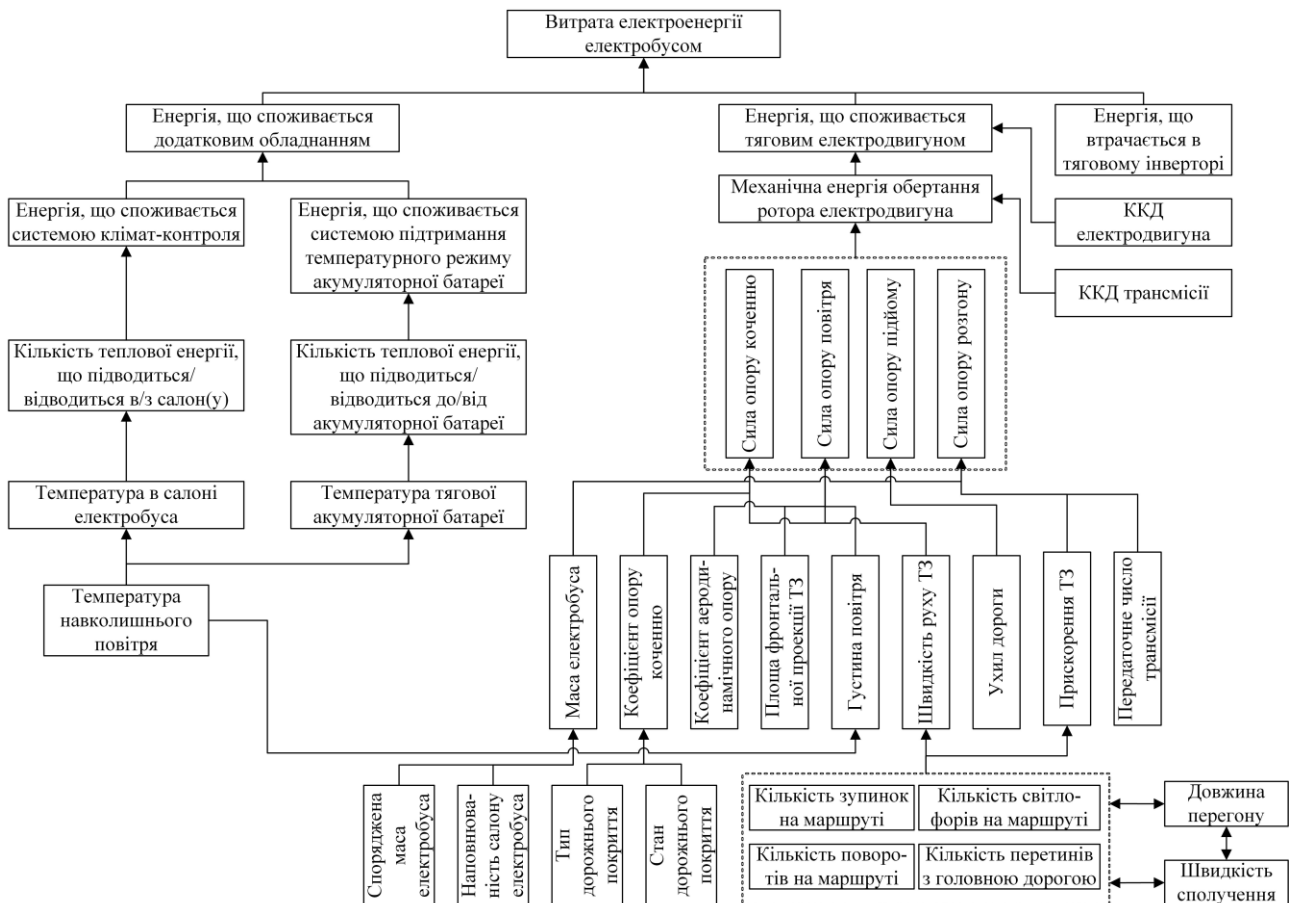


Рис. 1. Структурно-логічна схема впливу основних факторів умов експлуатації на витрати електроенергії електробусом на міському маршруті

Як відомо, техніко-експлуатаційні показники маршруту можуть бути враховані за допомогою такого фактора, як швидкість сполучення. Під швидкістю сполучення розуміється середня швидкість руху транспортного засобу за маршрутом з урахуванням простоїв з причин вулично-дорожнього руху та для посадки-висадки пасажирів на проміжних пунктах зупинки. Тому швидкість сполучення може розглядатись як один із факторів при нормуванні витрати електроенергії електробусом.

### Висновки

В результаті аналізу встановлено відсутність нормативних документів та ґрунтовних наукових досліджень, що розглядають питання нормування витрати електричної енергії електробусами під час їх експлуатації на міських маршрутах. В результаті аналізу робіт з питань експлуатації електробусів встановлено, що найбільш значними факторами є: техніко-експлуатаційні показники маршруту, наповнюваність салону транспортного засобу, ухил дороги, температура навколишнього повітря, яка дозволяє врахувати витрати електроенергії, пов'язані з роботою системи підтримки температурного режиму тягових акумуляторних батарей та системи клімат-контролю. Як узагальнюючий фактор, який враховує техніко-експлуатаційні показники електробусів може бути використаний показник швидкості сполучення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України Про автомобільний транспорт. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text>.
2. Czogalla, O. Design and control of electric bus vehicle model for estimation of energy consumption / O. Czogalla, U. Jumar // IFAC PapersOnLine, 52, 2019. Pp. 59-64.
3. Waldmann, Th. Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries - A Post - Mortem study / Th. Waldmann, M. Kasper, M. Fleischhammer, M. Wohlfahrt-Mehrens // Journal of Power Sources, 363, 2014. Pp. 129-135.
4. Vepsalainen, J. Development and validation of energy demand uncertainty model for electric city buses / J. Vepsalainen, K. Kivekas, K. Otto, A. Lajunen, K. Tammi // Transportation Research Part D, 63. 2018. Pp. 347-361.
5. Pamula, T. Estimation of the energy consumption of battery electric buses for public transport network using real-world data and deep learning / T. Pamula, W. Pamula // Energies 2020, 13(9), 2340; <https://doi.org/10.3390/en13092340>.
6. Tesar, M. Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses / M. Tesar, K. Berthold, J. P. Gruhler, P. Gratzfeld // Transportation Research Procedia, 48, 2020. Pp. 2038-2055.

**Риженков Андрій Іванович** – магістрант групи 1АТ-22мз, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Смирнов Євгеній Валерійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua

**Ryzenkov Andrii I.** – Master's student of group 1AT-22mz, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

**Smyrnov Yevhenii V.** – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua