

Далека В. Х., Бомбандьоров Ю. П., Метешкін К. О., Андрусевич А. О., Чумаченко І. В.

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЄМНОСТІ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ В ПРОЄКТАХ І ПРОГРАМАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

**Предметом вивчення** є моделі й методики визначення застосовності типоряду тягових акумуляторних батарей електротранспорту в мультипроектному середовищі для забезпечення автономного ходу тролейбусів у містах України. **Мета дослідження** – розробити інформаційне забезпечення енергетичної ємності електротранспорту в проєктах і програмах сталого розвитку й обґрунтувати достатність типоряду тягових акумуляторних батарей (ТАБ) для задоволення потреби міст в електротранспорті та сталого розвитку України в цьому напрямі. Зважаючи на окреслену мету, необхідно виконати такі **завдання**: оцінити енергетичну ємність тягових акумуляторних батарей; зібрати інформацію по містах України про характеристики тролейбусних маршрутів і обґрунтувати доцільність використання тролейбусів з автономним ходом з огляду на містобудівельні та енергетичні обмеження; дослідити й розробити інформаційне забезпечення на основі моделі визначення енергетичної ємності та методики визначення застосовності типоряду ТАБ у мультипроектному середовищі для забезпечення автономного ходу тролейбусів у містах України. **Методи**: системний, аналітичний, комп'ютерне моделювання, програмний продукт EASY WAY. **Досягнуті результати**. Запропоновано інформаційне забезпечення на основі моделі встановлення енергетичної ємності та методику визначення застосовності типоряду тягових акумуляторних батарей. Продемонстровано, що типоряд ТАБ здатний забезпечити автономний хід тролейбусів майже для всіх міст України, якщо його довжина не перевищуватиме 15 км. **Висновки**. За результатами дослідження визначено, що наявний типоряд ТАБ може забезпечувати автономний хід на відстань не меншу ніж 30 км, крім окремих міст України, що пов'язано з наявністю витрат енергоносія. Надалі необхідно вдосконалити інформаційне забезпечення енергетичної ємності електротранспорту в проєктах і програмах сталого розвитку й дослідити способи уточнення витрат енергоносія в містах України, де наразі неможливо застосувати жодну із ТАБ, які виготовляються для довжин автономного ходу понад 15 км.

**Ключові слова**: інформаційне забезпечення; проєкт; транспортний засіб; енергетична ємність; енергоносії; сталий розвиток.

### Вступ

Збільшення кількості транспортних засобів з електричною тяговою установкою в мультипроектному середовищі вдосконалення електротранспорту має на меті покращення екологічного стану міст і сталого розвитку України. Нині Україна посідає одне із провідних місць Європи, де здійснюються перевезення пасажирів міським електричним транспортом, до складу якого належить тролейбусний транспорт. Прийнятий 2023 року закон України [1] передбачає розроблення проєктів і програм заміни автобусів, що мають дизельні силові установки в українських містах, на транспортні засоби з електричними тяговими установками. Для реалізації вимоги цього закону необхідно насамперед з'ясувати, які витрати енергоносія має електробус чи тролейбус з автономним ходом під час роботи на маршруті для обґрунтування необхідної для цього енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї, і розробити інформаційну технологію на основі моделі

визначення енергетичної ємності для обґрунтування різних типів ТАБ.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Надання чинності закону України [1] сприяло збільшенню інтересу до визначення енергоефективності транспортних засобу категорії МЗ класу І, до яких належать автобуси й тролейбуси.

Так, дослідження фахівців Національного транспортного університету [2–6] присвячені методу обґрунтування енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї для проєктів забезпечення автономного ходу тролейбусів. У студіях [5, 6] висвітлено доцільність використання транспортних засобів з різними силовими установками. Крім того, вчені Луцького політехнічного університету виконали випробування щодо витрат енергоносія для різних умов руху маршрутом [7, 8]. На особливу увагу заслуговують роботи фахівців Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, які дають теоретичну базу

для проєктів визначення динамічних властивостей транспортних засобів з електричною тяговою установкою, що також містять і витрати енергоносія на їх забезпечення [9–11]. Програми за напрямом оцінювання витрат енергоносіїв та їх поповнення дослідили фахівці інших країн [12–15]. Доцільність використання тролейбусів із функцією автономного ходу (АХ) підтверджено виконаними проєктами й досвідом їх експлуатації в низці міст України (Київ, Харків, Кременчук, Одеса тощо), а також у багатьох інших країнах. Удосконалюється й наукова база програм енергоефективності. Публікації за результатами досліджень можна поділити на ті, в яких теоретично обґрунтовано проєкти витрат ресурсів [9–11] і висвітлено наукові, технічні та організаційні питання розроблення проєктів ресурсозбереження, підвищення якості програм транспортного обслуговування пасажирів і охорони довкілля [1, 9–11].

Особливо проблемними в експлуатації тролейбусів із функцією АХ є питання зарядження / дозарядження ТАБ, що здійснюються різними методами. Зокрема в статті [10] запропоновано застосування на рухомому складі сонячних панелей, у студіях [11, 13–16] ідеться про вдосконалення графіків зарядження батарей в депо і на кінцевих станціях, а в публікації [12] описано використання балансу електроенергії протягом визначеного часу.

#### Мета й завдання дослідження

Мета дослідження – розробити інформаційне забезпечення енергетичної ємності електротранспорту в проєктах і програмах сталого розвитку, обґрунтувати

достатність типоряду ТАБ, які виготовляються в Україні ТОВ "ПОЛІТЕХНОСЕРВІС", для забезпечення потреби міст у тролейбусах, що мають функцію автономного ходу, і підтримки сталого розвитку країни в цьому напрямі.

Для досягнення окресленої мети необхідно виконати такі завдання: оцінити енергетичну ємність ТАБ; зібрати інформацію по українських містах про характеристики тролейбусних маршрутів і обґрунтувати доцільність використання тролейбусів з АХ з огляду на містобудівельні та енергетичні обмеження; дослідити й розробити інформаційну технологію на основі моделі визначення енергетичної ємності й методу визначення застосовності типоряду ТАБ у мультипроєктному середовищі для забезпечення АХ тролейбусів у містах України.

У цій статті функція АХ тролейбуса передбачає рух транспортного засобу тільки із живленням від ТАБ або інших джерел енергії на рухомому складі.

#### Виклад основного матеріалу

Нині в Україні виготовляють ТАБ, які забезпечують автономний хід тролейбуса на ділянках міського маршруту, де відсутня контактна мережа.

Крім акумуляторних батарей, для АХ тролейбусів можуть використовуватись іоністори (суперконденсатори), дизель-генераторні установки, паливні елементи й газові турбіни. Але найбільш перспективним напрямом вважаються програми застосування ТАБ.

Типоряд ТАБ, виробництво якого впроваджено в Україні, має технічні властивості, подані в табл. 1.

Таблиця 1. Технічні властивості типоряду ТАБ

| Тип і виконання ТАБ | Маса, кг | Енергетична ємність, кВт*год | Максимальна напруга ТАБ за 100% заряду, В | Мінімальна напруга ТАБ для 40% зарядженої батареї на опорі 6,1 Ом (після нормального розряду) | Мінімальна напруга ТАБ для 30% зарядженої батареї на опорі 5,7 Ом (критичний розряд) |
|---------------------|----------|------------------------------|---|---|--|
| ТБЕТЗ.01            | 615      | 32,4                         | 540                                       | 405   | 375  |
| ТБЕТЗ.02            | 511      | 65,7                         | 589                                       | 469   | 378  |
| ТБЕТЗ.03            | 511      | 65,7                         | 574                                       | 469   | 406  |
| ТБЕТЗ.04            | 381      | 45                           | 590                                       | 482   | 418  |
| ТБЕТЗ.05            | 540      | 57                           | 590                                       | 482   | 418  |
| ТБЕТЗ.06            | 671      | 90                           | 590                                       | 482   | 418  |
| ТБЕТЗ.07            | 590      | 78,0                         | 590                                       | 417   | 388,8  |

Для оцінювання енергетичної ємності ТАБ було зібрано інформацію про довжину міських тролейбусних маршрутів. Передбачено, що інформаційне забезпечення енергетичної ємності електротранспорту буде використовувати програмний продукт EASY WAY, який працює з відомостями про рух автобусів,

тролейбусів і трамвайних вагонів на маршрутах заданого міста, з характеристиками маршрутів, технічними властивостями типоряду ТАБ та показниками питомих витрат енергоносія тролейбусним транспортом. Параметри довжини маршрутів тролейбусного транспорту подано в табл. 2.

Навність такої інформації дало змогу визначити довжину ділянки АХ, яку можна застосувати в разі необхідності для подовження маршруту. Типові довжини ділянок обрано за умови, що рух АХ не має перевищувати 40% від загальної довжини одного оборотного рейсу руху із живленням від контактної мережі.

Вибір співвідношення 40% АХ і 60% руху із живленням від контактної мережі пов'язаний із властивістю тягової акумуляторної батареї бути в режимах розрядження й зарядження. Як правило, потужність зарядного пристрою ТАБ завжди менша за потужність, задіяну під час розрядження тягової акумуляторної батареї, що забезпечує встановлений ресурс її роботи. Тому час зарядження ТАБ завжди

перевищує час її розрядження, а за умови однакової швидкості руху на маршруті ділянка АХ має бути завжди менша, ніж ділянка руху, де вона отримує заряд.

У табл. 2 подано довжини ділянок АХ, які можуть бути запропоновані для подовження маршрутів без використання капітальних вкладень на будівництво системи енергоживлення таких ділянок.

Обґрунтування необхідної енергетичної ємності ТАБ для забезпечення АХ на ділянках різних довжин (див. табл. 3) може ґрунтуватися на статистичних відомостях про витрати енергоносія для кожного міста України. Ця інформація береться з показань лічильників, установлених на тягових підстанціях, що живлять контактну мережу трамвайного й троллейбусного транспорту.

Таблиця 2. Довжини маршрутів троллейбусного транспорту

| Місто            | Довжина маршрутів, км |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Вінниця          | 14,1                  | 7,67  | 12,97 | 13,42 | 8,93  | 4,77  | 7,35  | 7,64  | 9,44  | 7,64  |
|                  | 10,69                 | 7,13  | 10,65 | 9,9   | 9,24  | 9,52  | 12,92 | 12,92 | 9,04  | 16,73 |
|                  | 13,47                 | 16,09 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Дніпро           | 7,61                  | 21,58 | 10,44 | 7,25  | 7,65  | 16,63 | 7,62  | 9,88  | 13,39 | 9,11  |
|                  | 5,4                   | 3,68  | 11,58 | 8,67  | 11,07 | 11,7  | 10,95 | 10,03 | 12,47 |       |
| Житомир          | 10,96                 | 11,95 | 10,31 | 12,57 | 11,82 | 7,77  | 7,9   | 6,61  | 12,76 | 15,2  |
|                  | 9,97                  | 10,03 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Запоріжжя        | 14,18                 | 14,24 | 8,85  | 16,91 | 5,88  |       |       |       |       |       |
| Київ             | 4,89                  | 7,17  | 17,28 | 14,03 | 14,24 | 14,82 | 9,34  | 8,95  | 13,1  | 17,07 |
|                  | 7,22                  | 5,57  | 11,64 | 6,96  | 12,25 | 19,43 | 9,24  | 7,93  | 9,41  | 7,83  |
|                  | 13,25                 | 9,02  | 14,79 | 24,25 | 21,96 | 6,17  | 14,05 | 9,85  | 19,24 | 10,56 |
|                  | 11,84                 | 7,32  | 6,69  | 9,25  | 9,1   | 4,81  | 14,57 | 18,12 | 8,29  | 6,51  |
|                  | 21,52                 | 11,93 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Львів            | 10,47                 | 8,6   | 8,38  | 6,67  | 7,45  | 6,44  | 11,71 | 6,63  | 5,14  | 9,54  |
| Одеса            | 5,78                  | 8,91  | 19,76 | 8,23  | 10,98 | 13,03 | 11,83 |       |       |       |
| Івано-Франківськ | 8,48                  | 10,93 | 10,47 | 7,16  | 7,61  | 9,78  | 9,37  |       |       |       |
| Кременчук        | 8,18                  | 9,83  | 11,44 | 15,53 | 11,28 | 12,23 | 11,2  | 12,4  | 13,77 | 20,4  |
|                  | 13,25                 | 15,05 | 17,31 | 13,82 | 15,85 |       |       |       |       |       |
| Кривий Ріг       | 11,27                 | 7,21  | 11,05 | 27,87 | 14,47 | 7,43  | 20,34 | 11,47 | 16,15 | 9,21  |
|                  | 27,04                 | 16,04 | 13,25 | 18,48 | 14,36 | 15,29 | 6,29  | 18,57 | 16,01 | 15,67 |
|                  | 29,13                 | 22,63 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Луцьк            | 15,41                 | 13,3  | 14,51 | 11,45 | 11,99 | 11,21 | 12,18 | 11,95 | 11,06 |       |
| Миколаїв         | 20,23                 | 15,19 | 8,14  | 8,1   | 12,4  | 14,26 | 14,18 | 27,87 | 15,68 | 27,05 |
|                  | 12,87                 | 11,76 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Полтава          | 10,56                 | 10,85 | 10,63 | 14,65 | 15,46 | 15,21 | 10,35 | 15,2  | 9,2   |       |
| Рівне            | 6,72                  | 9,11  | 5,77  | 6,23  | 6,36  | 9,2   | 8,46  | 5,22  | 5,35  | 10,45 |
|                  | 13,92                 | 14,48 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Суми             | 8,39                  | 15,1  | 8     | 10,7  | 11,21 | 8,98  | 5,69  | 12,17 | 11,27 | 13,84 |
|                  | 10,14                 | 6,55  | 6,77  | 10,42 | 9,92  | 8,11  | 5,81  |       |       |       |
| Тернопіль        | 8,16                  | 6,31  | 12,32 | 12,95 | 13,25 | 10,85 | 6,13  | 10,87 |       |       |
| Херсон           | 3,77                  | 8,02  | 6,07  | 6,19  | 10,23 |       |       |       |       |       |
| Хмельницький     | 8,98                  | 12,73 | 12,47 | 11,89 | 6,98  | 13,71 | 13,95 | 7,32  | 10,17 | 9,95  |
|                  | 8,5                   | 10,76 | 10,55 | 9,65  | 13,17 | 7,43  | 4,97  | 7,5   | 7,93  | 10,47 |
|                  | 9,63                  | 5,1   | 9,07  | 8,35  |       |       |       |       |       |       |
| Черкаси          | 12,47                 | 12,41 | 8,83  | 9,03  | 11,17 | 7,48  | 15,44 | 18,7  | 12,52 | 13,97 |
|                  | 12,09                 | 12    | 11,04 | 12,49 | 10,22 | 13,75 | 10,99 | 12,78 | 16,1  | 12,49 |
|                  | 11,93                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Чернівці         | 5,84                  | 6,51  | 9,04  | 5,13  | 14,63 | 7,77  | 6,47  | 5,44  |       |       |
| Чернігів         | 8,38                  | 10,62 | 9,59  | 19,28 | 14,43 | 11,61 | 9,94  |       |       |       |
| Кропивницький    | 13,61                 | 12,68 | 10,96 | 17,44 | 18,75 | 11,43 | 7,8   | 12,39 |       |       |

Таблиця 3. Довжина ділянок АХ, які пропонуються

| Довжина ділянки АХ, км | Довжина ділянки живлення від контактної мережі, км | Кількість маршрутів, де можна реалізувати АХ | Відсоток маршрутів, де можна реалізувати АХ від загальної кількості маршрутів, % |
|------------------------|--|--|--|
| 25                     | понад 30 км  | 1  | 0,34   |
| 20                     | понад 25 км  | 6  | 2,06   |
| 15                     | понад 18 км  | 11   | 3,78   |
| 10                     | понад 12,5   | 79   | 27,15  |
| 5                      | понад 5 км   | 194  | 66,67  |

**Примітка.** Довжину ділянки АХ подано для одного оборотного рейсу, а ділянки із живленням від контактної мережі – для 0,5 оборотного рейсу.

Показання лічильників спожитої електроенергії, встановлені на тягових підстанціях, містять не тільки витрати енергоносія на виконання транспортної роботи, а й втрати енергоносія:

- на підстанціях в процесі перетворення змінної високої напруги 12 кВ у напругу постійного струму номінальною напругою 550 В;

- під час передавання до струмоприймачів тролейбуса в контактній та кабельній мережі.

Щодо втрати енергії в контактній і кабельній мережі, то їх величина визначається перерізом контактного дроту й величиною струму споживання. Для подальших розрахунків можна прийняти значення втрат енергоносія на рівні 10%.

Витрати енергоносія на рух тролейбуса від депо до заданого розкладом маршруту й у зворотному напрямку після завершення роботи на маршруті, а також витрати на виконання маневрових робіт під час перебування транспортного засобу в депо дотепер не досліджувалися. Для оцінювання цього складника витрат енергоносія приймемо, що їх доля в загальних витратах може становити приблизно 5%.

Тоді, з огляду на зазначені вище припущення для інформації, поданої в табл. 4, можна застосувати коригувальний коефіцієнт 0,85, щоб отримати показники витрат енергоносія безпосередньо на здійснення транспортної роботи.

Табл. 4 містить скореговану інформацію щодо витрат енергоносія на перевезення пасажирів, а також:

- середнє значення питомих витрат, яке має бути застосовано для встановлення робочого діапазону розряду ТАБ;

- стандартне відхилення значення питомих витрат, використане для визначення максимальної витрати енергоносія;

- максимальне значення питомих витрат, що має бути застосовано для встановлення критичного діапазону розряду ТАБ.

Максимальне значення питомих витрат енергоносія є максимальним значенням двобічного довірчого інтервалу, визначеного для довірчої ймовірності 95%, яке обчислено за методикою ДСТУ ISO 2602 [21].

Загальна модель розрахунку для встановлення необхідної енергетичної ємності ТАБ запропонована в роботі [4], але може бути записана в спрощеному вигляді, оскільки споживання електричного устаткування транспортного засобу на власні потреби вже міститься в статистичних показниках, поданих у табл. 4, а саме:

$$C_{ТАБ} = \max \left\{ \begin{array}{l} e_{cp} \cdot L / k_{pd} \\ e_{max} \cdot L / k_{kd} \end{array} \right., \quad (1)$$

де  $k_{pd}$  – коефіцієнт, що регламентує робочий діапазон розряду ТАБ (0,6);  $k_{kd}$  – коефіцієнт, що регламентує критичний діапазон розряду ТАБ (0,8);  $e_{cp}$  – середнє значення питомих витрат енергоносія;  $e_{max}$  – можливе максимальне значення питомих витрат енергоносія;  $L$  – довжина ділянки маршруту для руху автономним ходом (далі АХ).

Отримане за виразом (1) значення необхідної енергетичної ємності ТАБ використано для вибору її з типоряду, який виготовляє ТОВ "ПОЛІТЕХНОСЕРВІС". У такий спосіб було обчислено кількість випадків можливого застосування ТАБ із визначеною енергетичною ємністю для різних довжин ділянок АХ щодо загальної кількості міст, які розглядаються в цьому дослідженні.

У табл. 5 на базі показників, узятих з моделі визначення енергетичної ємності для обґрунтування різних типів тягових акумуляторних батарей, подано частоту застосування ТАБ (у відсотках) по містах України залежно від можливої довжини ділянки АХ.

Таблиця 4. Статистичні показники питомих витрат енергоносія тролейбусним транспортом

| Місто            | Витрати енергоносія, кВт*год/км |         |         | Середнє значення, кВт*год/км | Стандартне значення, кВт*год/км | Максимальне значення, кВт*год/км |
|------------------|---------------------------------|---------|---------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                  | 2022 р.                         | 2023 р. | 2024 р. |                              |                                 |                                  |
| Вінниця          | 1,43                            | 1,62    | 1,49    | 1,51                         | 0,10                            | 1,57                             |
| Дніпро           | 1,38                            | 1,56    | 2,03    | 1,66                         | 0,34                            | 1,86                             |
| Житомир          | 3,18                            | 4,15    | 3,46    | 3,60                         | 0,50                            | 3,90                             |
| Запоріжжя        | 1,57                            | 1,93    | 1,52    | 1,67                         | 0,22                            | 1,81                             |
| Київ             | 1,09                            | 1,76    | 1,47    | 1,44                         | 0,34                            | 1,64                             |
| Львів            | 3,46                            | 4,10    | 1,45    | 3,00                         | 1,38                            | 3,84                             |
| Одеса            | 3,42                            | 4,22    | 4,66    | 4,10                         | 0,63                            | 4,48                             |
| Івано-Франківськ | 1,52                            | 1,61    | 1,72    | 1,62                         | 0,10                            | 1,68                             |
| Кременчук        | 3,92                            | 5,12    | 4,72    | 4,59                         | 0,61                            | 4,96                             |
| Кривий Ріг       | 1,87                            | 3,04    | 3,58    | 2,83                         | 0,88                            | 3,36                             |
| Луцьк            | 2,66                            | 3,16    | 3,11    | 2,98                         | 0,27                            | 3,14                             |
| Миколаїв         | 1,76                            | 3,47    | 2,56    | 2,60                         | 0,86                            | 3,12                             |
| Полтава          | 3,36                            | 2,68    | 2,86    | 2,97                         | 0,35                            | 3,18                             |
| Рівне            | 2,75                            | 3,17    | 3,02    | 2,98                         | 0,21                            | 3,11                             |
| Суми             | 2,08                            | 2,17    | 1,97    | 2,07                         | 0,10                            | 2,13                             |
| Тернопіль        | 1,29                            | 1,53    | 1,54    | 1,46                         | 0,14                            | 1,54                             |
| Херсон           |                                 | 1,34    | 1,00    | 1,17                         | 0,24                            | 1,32                             |
| Хмельницький     | 1,77                            | 1,80    | 1,73    | 1,77                         | 0,03                            | 1,79                             |
| Черкаси          | 0,85                            | 1,34    | 2,43    | 1,54                         | 0,81                            | 2,03                             |
| Чернівці         |                                 | 2,09    | 0,02    | 1,06                         | 1,46                            | 1,94                             |
| Чернігів         | 2,88                            | 3,19    | 3,36    | 3,14                         | 0,24                            | 3,29                             |
| Кропивницький    | 4,95                            | 4,96    | 5,01    | 4,97                         | 0,03                            | 4,99                             |

Таблиця 5. Можлива частота застосування типів ТАБ, %

| Виконання ТАБ та її енергетична ємність | Довжина АХ, км |        |       |       |       |       |
|---|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|   | 5              | 10     | 15    | 20    | 25    | 30    |
| ТБЕТЗ.01, 32.4 кВт*год                  | 86,36          | 50,00  | 4,55  | –     | –     | –     |
| ТБЕТЗ.03, 65.7 кВт*год                  | –              | 9,09   | 4,55  | 9,09  | 22,73 | 4,55  |
| ТБЕТЗ.04, 45 кВт*год                    | 13,64          | 4,55   | 40,91 | 4,55  | –     | –     |
| ТБЕТЗ.05, 57 кВт*год                    | –              | 22,73  | 4,55  | 27,77 | 4,55  | –     |
| ТБЕТЗ.06, 90 кВт*год                    | –              | 4,55   | 13,64 | 4,55  | 4,55  | 18,18 |
| ТБЕТЗ.071, 78, кВт*год                  | 0,00           | 9,09   | 27,27 | 4,55  | 18,18 | 22,73 |
| Разом                                   | 100,00         | 100,00 | 95,47 | 50,51 | 50,01 | 45,46 |

У табл. 6 подано міста України, для яких неможливо застосувати ТАБ із типоряду, що виготовляє ТОВ "ПОЛІТЕХНОСЕРВІС", якщо замовлена містом бажана довжина АХ буде перевищувати 10 км.

Обмеження застосовності типоряду ТАБ для АХ завдовжки понад 10 км для міст України (див. табл. 6) насамперед пов'язано із вищими, ніж у інших містах, питомими витратами енергоносія.

На нашу думку, причиною більших питомих витрат енергоносія можуть бути:

- недосконала методика розподілу їх витрат між тролейбусним і трамвайним транспортом у містах Житомирі, Львові, Одесі, Миколаєві, Кривому Розі;
- похибки обліку витрат енергоносія або наявність додаткових його споживачів, які не пов'язані із забезпеченням руху тролейбусів (Кременчук, Кривий Ріг, Луцьк, Полтава, Рівне, Суми, Чернігів).

Таблиця 6. Міста України, де неможливо забезпечити АХ завдовжки понад 10 км

| Місто         | Витрати енергоносія, кВт*год/км за роки |      |      | Середнє значення витрати енергоносія, кВт*год/км | Довжина АХ |    |    |    |    |    |
|---------------|---|------|------|--|------------|----|----|----|----|----|
|               | 2022                                    | 2023 | 2024 |  | 5          | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Житомир       | 3,18                                    | 4,15 | 3,46 | 3,60   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Львів         | 3,46                                    | 4,10 | 1,45 | 3,00   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Одеса         | 3,42                                    | 4,22 | 4,66 | 4,10   | +          | +  | -  | -  | -  | -  |
| Кременчук     | 3,92                                    | 5,12 | 4,72 | 4,59   | +          | +  | -  | -  | -  | -  |
| Кривий Ріг    | 1,87                                    | 3,04 | 3,58 | 2,83   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Луцьк         | 2,66                                    | 3,16 | 3,11 | 2,98   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Миколаїв      | 1,76                                    | 3,47 | 2,56 | 2,60   | +          | +  | +  | +  | -  | -  |
| Полтава       | 3,36                                    | 2,68 | 2,86 | 2,97   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Рівне         | 2,75                                    | 3,17 | 3,02 | 2,98   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Суми          | 2,08                                    | 2,17 | 1,97 | 2,07   | +          | +  | +  | +  | +  | -  |
| Чернігів      | 2,88                                    | 3,19 | 3,36 | 3,14   | +          | +  | +  | -  | -  | -  |
| Кропивницький | 4,95                                    | 4,96 | 5,01 | 4,97   | +          | +  | -  | -  | -  | -  |

Примітка. "+" – можливо забезпечити АХ, "-" неможливо забезпечити АХ наявним типорядом ТАБ.

### Обговорення результатів дослідження

Модель, методика та інформаційне забезпечення на їх основі можуть бути застосовані з метою обґрунтування різних типів ТАБ для забезпечення автономного ходу тролейбусів і перевезення пасажирів електробусами. Результати цього дослідження наразі є науковою базою вдосконалення ТАБ, що виготовляє ТОВ "ПОЛІТЕХНОСЕРВІС".

### Висновки

У процесі дослідження визначено, що описаний типоряд ТАБ здатний забезпечувати АХ на відстані не меншій ніж 30 км, крім поодиноких українських міст. Це пов'язано з наявністю витрат енергоносія, які в інших містах країни є вищими.

З метою уточнення типоряду ТАБ надалі необхідно вдосконалити інформаційне забезпечення на основі моделі визначення енергетичної ємності різних типів тягових акумуляторних батарей, а також дослідити способи уточнення витрат енергоносія в містах України, де наразі неможливо застосувати жодну з ТАБ, які нині виготовляються, для довжин АХ понад 15 км.

Матеріали цієї статті можуть бути впроваджені для розроблення інформаційного забезпечення

### References

1. Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів [Електронний ресурс]: Закон України від 24.02.2023 №2956-IX: станом на 01 серп.2025р. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>

експлуатації автономного електротранспорту в безпілотній системі.

### Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів, зокрема фінансового, особистого, авторського чи будь-якого іншого характеру, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, опубліковані в цій статті.

### Фінансування

Випробування проводиться в межах дослідницького проекту 0126U003139 НФД України з теми "Наукові засади формування та управління людським потенціалом у мультипроектному середовищі для забезпечення сталого розвитку програм відновлення України".

### Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

### Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не застосовували технології ШІ для написання цієї роботи.

2. Андрусенко, С. І., Будниченко, В. Б., Подпісов, В. С. (2022), "Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації", *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, № 22, с. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>
3. Андрусенко, С. І., Будниченко, В. Б., Подпісов, В. С. (2022), "Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок", *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт)*, № 2 (270), с. 15–25. DOI: 10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25
4. Андрусенко, С. І., Будниченко, В. Б., Подпісов, В. С. (2021), "Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї", *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*, Вип. 3 (50), с. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010>
5. Андрусенко, С., Дембіцький, В., Будниченко, І., Дикий, В. (2024), "Дослідження доцільності використання електробусів на автобусних та тролейбусних маршрутах у містах", *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, № 1(22), с. 76–88. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1348>
6. Андрусенко, С. І., Будниченко, В. Б., Подпісов, В. С. (2021), "Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом", *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт)*, № 3 (267), с. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21>
7. Дембіцький, В., Андрусенко, С., Будниченко, І., (2023), "Оцінка показників доли рекуперації енергії тролейбусами в умовах міського руху", *Сучасні технології в машинобудуванні на транспорті. Луцький національний технічний університет*, том 2, № 21. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i21.1202>
8. Dembitskiy, V., Sitovskiy, O., Pavliuk, V. (2019), "Influence of a system "vehicle – driver – road – environment" on the energy efficiency of the vehicles with electric drive", *Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. – Tern. : TNTU, Scientific Publishing House "SciView"*, pp. 162–173.
9. Сорока, К. О. (2022), *Тягові розрахунки на основі аналізу процесів перетворення енергії : монографія / К.О.Сорока; Харк. Нац. Ун-т міськ. Госп-ва ім. О.М. Бекетова.-Харків :ХНУМГ ім О.М.Бекетова, 243 с.*
10. Кульбашна, Н., Лукашова, Н., Далека, В., Скуріхін, В. (2025), "Шляхи підвищення енергоефективності електробусів за рахунок сучасних фотоелектричних технологій", *Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Харків : ХНУГХ ім. О. М. Бекетова*, том 1. № 189, С. 52–60. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-52-60>
11. Kulbashna, N., Daleka, V., Lukashova, N., Furtat, S. (2025), "Energy Aspects of Forming Electric Bus Charging Schedules", *Lighting Engineering & Power Engineering*, Vol. 64, No. 2, pp. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2025.64.2.03>
12. Dirks, N., Schiffer, M., Walther, G. (2022), "On the integration of battery electric buses into urban bus networks", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, No. 139, 103628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103628>
13. Heendeniya, C. B., Nespoli, L., Belliardi, M., Medici, V. (2023), "Exploring trade-offs in public bus electrification under stochastic conditions", *Energy Informatics*, No. 6 (1), 35, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00279-y>
14. Zhang, L., Zeng, Z., Gao, K. (2022), "A bi-level optimization framework for charging station design problem considering heterogeneous charging modes", *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, No. 5/1, pp. 8–16. DOI: <https://doi.org/10.1108/JICV-07-2021-0009>
15. Bie, Y., Ji, J., Wang, X., Qu, X. (2021), "Optimization of electric bus scheduling considering stochastic volatilities in trip travel time and energy consumption", *Computer-aided civil and infrastructure engineering*, No. 36 (12), pp. 1530–1548. DOI: <https://doi.org/10.1111/mice.12684>
16. Estrada, M., Mensión, J., Salicrú, M., Badia, H. (2022), "Charging operations in battery electric bus systems considering fleet size variability along the service", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 138, 103609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103609>

Received (Надійшла) 27.03.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 08.04.2026

Publication date (Дата публікації) 29.05.2026

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Далека Василь Хомич** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, професор кафедри електричного транспорту, Харків, Україна;

**Vasyl Daleka** – Doctor of Technical Sciences, Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy, Professor of the Department of Electric Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: dalekavf@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3074-5500>

**Бомбандьоров Юрій Петрович** – радник директора, Товариство відкритого типу "ПОЛІТЕХНОСЕРВІС", Бровари, Україна;

**Yuri Bombandorov** – Advisor to the Director, Open Society "POLYTECHNOSERVICE", Brovary, Ukraine;

e-mail: bombandorov@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9848-1644>

**Метешкін Костянтин Олександрович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харків, Україна;

**Kostyantín Meteshkin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy, Professor of the Department of Land Administration and Geoinformation Systems, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: meteshkin@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1170-2062>

**Андрусевич Анатолій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії, Харків, Україна;

**Anatoly Andrusevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Professor at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation, Robotics and Safety Engineering, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [anatolii.andrusevych@nure.ua](mailto:anatolii.andrusevych@nure.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3142-635X>

**Чумаченко Ігор Володимирович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри управління проєктами в міському господарстві та будівництві, Харків, Україна;

**Igor Chumachenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of Project Management in Urban Management and Construction Department, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [ivchumachenko@gmail.com](mailto:ivchumachenko@gmail.com)

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2312-2011>

## INFORMATION SUPPORT OF THE ENERGY CAPACITY OF ELECTRIC TRANSPORT IN PROJECTS AND PROGRAMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE

The **subject matter** of the study is the models and methods for determining the applicability of the type series of traction batteries for electric transport in a multi-project environment to ensure autonomous operation of trolleybuses in the cities of Ukraine. **The purpose of the study** is to develop information support for the energy capacity of electric transport in sustainable development projects and programs and to substantiate the sufficiency of the type series of traction batteries (TAB) to ensure the needs of cities and sustainable development of Ukraine in electric transport. The article requires the following **tasks** to be performed: to assess the energy capacity of traction batteries, to collect information on the cities of Ukraine on the characteristics of trolleybus routes and to substantiate the feasibility of using trolleybuses with autonomous operation, taking into account urban planning and energy restrictions. To investigate and develop information support based on a model for determining the energy capacity and a methodology for determining the applicability of the TAB type series in a multi-project environment to ensure autonomous operation of trolleybuses in the cities of Ukraine. **Methods:** system, analytical, computer modeling, EASY WAY software product. Achieved results: Information support based on the model for determining the energy capacity and the method for determining the applicability of the traction battery type series are proposed. It is shown that the TAB type series is sufficient to ensure autonomous travel of trolleybuses for almost all cities of Ukraine, if its length does not exceed 15 km. **Conclusions:** According to the results of this study, it was determined that the existing TAB type series is capable of providing autonomous travel for a distance of at least 30 km, except for some cities of Ukraine, which is associated with the presence of energy carrier costs. In the future, it is proposed to improve the information support for the energy capacity of electric transport in sustainable development projects and programs and to conduct research to clarify energy carrier costs in cities of Ukraine where it is currently impossible to apply any of the TABs that are currently manufactured for autonomous travel lengths of more than 15 km.

**Keywords:** information support; project; vehicle; energy capacity; energy carrier; sustainable development.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Далека В. Х., Бомбандьоров Ю. П., Метешкін К. О., Андрусевич А. О., Чумаченко І. В. Інформаційне забезпечення енергетичної ємності електротранспорту в проєктах і програмах сталого розвитку України. *Автоматизовані системи управління та прилади автоматики*. 2026. № 2 (189). С. 259–266. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.189.259>

Daleka, V., Bombandyorov, Y., Meteshkin, K., Andrusevich, A., Chumachenko, I. (2026), "Information support of the energy capacity of electric transport in projects and programs of sustainable development of Ukraine", *Management Information System and Devices*, No. 2 (189), P. 259–266. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.189.259>