

Аналіз технічної досконалості міських електробусів різних типів

Войтків С. В.¹

¹Науково-технічний центр «Автополіпром»

Анотація. Електробуси різних типів набувають все ширшого застосування для перевезень пасажирів на міських маршрутах практично у всіх розвинутих країнах світу. Проте, в нашій державі, їх, бодай, одичне виробництво, відсутнє. Метою роботи являється вибір типу перспективного міського електробуса для вітчизняних умов розвитку економіки на основі аналізу технічних параметрів електробусів різних типів, ескізні проекти яких розроблені на засадах максимальної ідентичності їх конструкцій та економічних параметрів різних систем "тип міського електробуса – необхідна інфраструктура". Розроблено п'ять варіантів ескізних проектів міських електробусів різних типів, запропонована методика та проведено аналіз їх технічної досконалості, на основі якого обґрунтований вибір оптимальних типів для проектування конкурентоспроможних електробусів, найбільш придатних для міських перевезень пасажирів на даному етапі економічного розвитку України.

Ключові слова: електробус I-го класу; міський електробус; технічна досконалість електробуса; пасажиромістимість електробуса; параметри мас електробуса; автономний пробіг; міська інфраструктура.

Вступ

На нинішній час для міських перевезень пасажирів застосовуються, здебільшого, електробуси двох типів за системою заряджання автономних джерел електричної енергії (ДЕЕ):

- ONC (Overnight Charging) – обладнані системою повільного заряджання тягових акумуляторних батарей (АКБ) у нічний час;
- OC (Opportunity Charging), обладнані системою ультрашвидкого підзаряджання ДЕЕ на зупинках.

У залежності від типу застосовуваних автономних ДЕЕ розрізняють дві групи електробусів типу OC [1]:

- OC-B (Opportunity Charging - Battery), обладнані системою ультрашвидкого підзаряджання тягових АКБ на зупинках;
- OC-S (Opportunity Charging – Supercapacitor), обладнані тяговими суперконденсаторами (СК) – іоністорами.

Електробуси ще одного типу – ІМС (In-Motion-Charging), обладнані системою підзаряджання автономних ДЕЕ під час руху по

маршруту, наразі майже не застосовуються. Хоча на основі електробусів цього типу створені і уже експлуатуються тролейбуси з автономним рухом, автономні ДЕЕ яких підзаряджаються від дводрової тролейбусної мережі. Інші системи ІМС, наприклад, з вбудованими зарядними пристроями під покриттям міських вулиць на відповідних ділянках, наразі не вийшли зі стадії експериментальних досліджень та піддослідної експлуатації.

Кожному типу електробусів властиві, звісно, як переваги так і відповідні недоліки. Їх врахування при виборі найоптимальнішого типу для проектування, організації та розвитку виробництва й експлуатації електробусів за існуючого стану економічного розвитку країни, має вкрай важливе значення.

Аналіз публікацій

З економічної точки зору ринкова вартість міських електробусів завжди вища ніж аналогічних автобусів однакової габаритної довжини. Значна різниця їх вартості обумовлена застосуванням додаткових компонентів тягового приводу електробусів, особливо ав-

тономних ДЕЕ, та дорогої інфраструктури зарядних станцій. Різні типи електробусів за умови застосування відповідних типів систем заряджання/ підзаряджання автономних ДЕЕ потребують, звісно, відповідних міських інфраструктур, пов'язаних, у першу чергу, з наявністю або необхідністю будівництва тягових електричних підстанцій та зарядних станцій. Тобто, відповідно системі "тип міського електробуса – необхідна інфраструктура" обсяги фінансування на впровадження того чи іншого типу електробуса у систему міських перевезень пасажирів складатимуться:

- з ринкової вартості міських електробусів необхідної та однакової загальної пасажиромістимості з урахуванням заданої кількості пасажирських сидінь;
- з вартості будівництва відповідних об'єктів інфраструктури, необхідних для експлуатації того чи іншого типу електробусів на конкретному міському маршруті.

Як відомо, на даний час у якості автономних ДЕЕ можливе застосування тягових АКБ, тягових СК або тягових паливних елементів (ПЕ). Перспективи застосування електробусів, обладнаних тяговими АКБ або ПЕ, у малих і середніх містах детально розглянути у роботі [2] на основі порівняльного оцінювання за допомогою моделі загальної вартості їх придбання та експлуатації (ТСО) з урахуванням витрат на необхідну інфраструктуру. За результатами проведених досліджень очікується значне зниження вартості ТСО до 2030 року – на 23,5 % порівняно з дизельними автобусами. Оптимальною системою зарядки тягових АКБ електробусів являтиметься система ультрашвидкого підзаряджання ДЕЕ на зупинках (електробуси типу ОС-В). Але відповідні обчислення і цей прогноз зроблені за умови, що електробуси користуються однією зарядною станцією, яка розміщена на перетині якомога більшої кількості міських маршрутів. Що стосується електробусів, обладнаних водневими ПЕ, встановлено, що, хоча вони й мають аналогічний автономний пробіг та час заправлення, їх ТСО у 2030 році прогнозується все ще вищим на 15,4 % відносно міських автобусів з дизельними двигунами. Проте, все ж виробництво водневого палива та відповідних ПЕ потребує дуже великих капіталовкладень.

У роботі [3] на прикладі реальної автобусної мережі показано, що всебічна інтеграція

електробусів, обладнаних тяговими АКБ, являється доцільною і економічно вигідною. На основі аналізу впливу енергопотужності тягових АКБ та потужності зарядних станцій встановлено, що зарядні станції середньої потужності в поєднанні з тяговим АКБ середньої ємності перевершують системи їх заряджання з низьким енергоспоживанням та системи на основі потужних зарядних станцій.

Проблеми заряджання тягових АКБ великої кількості електробусів типу ОС розглянуті у роботі [4], адже їх одночасне заряджання може призвести до наявності електричних підстанцій надзвичайно високої потужності. Показана також необхідність розподілення процесу заряджання тягових АКБ таких електробусів на кілька періодів з урахуванням технічних, економічних та експлуатаційних параметрів мережі зарядних станцій. Хоча у 2017 році 60 % всього обсягу продажу електробусів у Європі відносилися до підтипу ЕС-В, а у Китаї їх реалізовано майже 50 %, очікується, що більшість електробусів у майбутньому все ж буде відноситися до підтипу ОС-В.

Необхідність врахування можливостей інфраструктури електричних підстанцій при виборі типів електробусів показана і у роботі [5]. На основі аналізу можливих систем заряджання тягових АКБ електробусів показано, що найбільш доцільними являються, наразі, два підтипи електробусів – ОС-В та з пантографом, розміщеним на зарядній станції (*charging station*), оскільки він має ряд суттєвих переваг порівняно з електробусами підтипу ЕС-Вrb (*roof of the bus*), у яких пантограф розміщений на даху кузова. Відносним недоліком електробусів підтипу ОС-В являється необхідність ручного підключення розніжного штекера до зарядної станції.

Техніко-економічне порівняння різних концепцій міських електробусів із системами нічного, помірною й дуже швидкого заряджання тягових АКБ та їх заряджання від існуючої тролейбусної мережі на основі експлуатації в різних містах Європи наведено у роботі [6]. У ній констатовано, що концепція ОС для електробусів вважається найбільш економічним рішенням, оскільки інвестиції в інфраструктуру досить низькі, хоча й відмічені недоліки – велика маса тягових АКБ та необхідність автономного опалювача.

У роботі [7] представлено метод, розроблений для аналізу системи електробус – необхідна інфраструктура", який враховує інфраструктуру постачання електроенергії, системи заряджання тягових АКБ, енергосистеми електробусів та інтенсивність пасажиропотоків на маршрутах. Аналіз руху електробусів на двох міських маршрутах та розрахунок річної вартості їх експлуатації акцентували увагу на важливості зниження витрат на придбання тягових АКБ і, зрештою, оптимізації використання електробусів.

Як відмічено у роботі [8], визначення енергоємності автономних накопичувачів електроенергії та необхідної інфраструктури для їх заряджання, являється ключовим етапом проектування перспективних конкурентоспроможних міських електробусів. Для того, щоб бути привабливими на дуже вимогливому ринку, електробуси повинні зменшувати величину ТСО порівняно зі звичайними автобусами з дизельними двигунами. Але для забезпечення належного автономного пробігу електробусів необхідні тягові АКБ великої ємності, що пов'язано з високими інвестиційними витратами. Крім того, складною проблемою являється організація заряджання тягових АКБ у нічний час великої кількості електробусів типу ONC. Саме тому у роботі представлено підхід до оптимізації розташування та потужностей зарядних станцій.

На підставі проведених досліджень різних типів міських електробусів на основі паралельного порівняння 16 найкращих їх характеристик електробус типу ONC пропонується як найбільш прийнятна альтернатива для заміни автобусів з дизельними двигунами з врахуванням очікуваного вдосконалення конструкцій та технологій виготовлення тягових АКБ, а також тенденцій до використання відновлювальних джерел у виробництві електроенергії [9].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є визначення та вибір оптимального типу міського електробуса для створення та організації серійного виробництва перспективних конкурентоспроможних електробусів на підприємствах України.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних завдань:

- розроблення ескізних проектів електробусів різних типів на основі принципу "при інших однакових умовах";

- формування найбільш характерних показників для порівняльного аналізу електробусів різних типів;
- проведення порівняльного аналізу найбільш визначальних параметрів електробусів різних типів;
- оцінка технічної досконалості міських електробусів різних типів;
- вибір одного-двох типів міських електробусів для подальшого проектування та організації виробництва на вітчизняних підприємствах.

Вибір типів міських електробусів для розроблення ескізних проектів

Огляд та аналіз наведених вище та багатьох інших досліджень, пов'язаних з проблемами вибору оптимального типу електробусів для міських перевезень пасажирів, показує, що на даному етапі розвитку їх конструкцій найбільш придатними для застосування являються:

- електробуси типу ONC з системою повільного заряджання тягових АКБ у нічний час доби;
- електробуси типу ОС з системою ультрашвидкого підзаряджання ДЄЕ під час зупинок на маршрутах від зарядних станцій, розміщених на кінцевих та/ або проміжних зупинках.

Міські електробуси типу ІМС з системами підзаряджання автономних ДЄЕ під час руху по маршруту (не йдеться про використання троллейбусної контактної мережі) та електробуси з ПЕ у найближчому десятилітті навряд чи зможуть набути бодай якогось широкого застосування. Тому, для розроблення ескізних проектів та порівняльного аналізу вибрані електробуси двох типів – ONC та ОС.

Міські електробуси типу ONC – основні недоліки та шляхи їх мінімізації

Електробуси типу ONC, хоча й набули на нинішній час чи не найбільшого застосування, все ж не являються однозначно найкращим типом пасажирських транспортних засобів громадського користування (ПТЗ ГК) для міських перевезень пасажирів. Адже їх конструкціям властиві два основні недоліки:

- необхідність дуже великої енергопотужності тягових АКБ для забезпечення необхідного автономного пробігу під час роботи на міських маршрутах;

- дуже велика маса тягових АКБ, навіть за умови застосування найкращих їх типів, наприклад, типу LiFePO₄;
- суттєво менша (на 24-38 %) загальна пасажиромістимість, навіть за умови збільшення регламентованої допустимої маси на 1500 кг (до 19500 кг), у порівнянні з міськими автобусами, обладнаними дизельними двигунами.

Мінімізація наведених недоліків електробусів типу ONC можлива одним з двох напрямків:

- розміщенням основної частини блоків тягових АКБ (біля 90 % загальної ємності) у одно- або двомостових причепах;
- застосуванням системи заміни розряджених блоків тягових АКБ іншими, повністю зарядженими, на відповідних станціях. Отже, електробуси типу ONC можна класифікувати у три підтипи:
- ONC-C (C – *classic*) – електробус, обладнаний тяговими АКБ відповідної ємності, необхідної для заданого денного автономного пробігу під час роботи на маршрутах;
- ONC-T (T – *trailed*) – електробус, основна частина тягових АКБ якого розміщена у причепі;
- ONC-V (V – *variable*) – електробус, обладнаний системою заміни блоків тягових АКБ.

Вперше, система розміщення тягових АКБ у причепі була запропонована німецькою фірмою "MAN Truck & Bus AG" ще у 1970 році [10]. Міський електробус моделі 750 HO-M10 E міг перевозити 99 пасажирів, а його автономний пробіг становив 50 км. Експериментальні роботи по створенню дослідних зразків міських електробусів підтипу ONC-T уже ведуться кількома фірмами. Зокрема, нідерландська компанія "VDL Bus & Coach" розробила електробус з причепом, у якому розміщений водневий ПЕ [11], а російська фірма ПК "Транспортні системи" спроектувала і виготовила дослідний зразок електробуса моделі ПК ТС-6218 "Піонер", 75 % тягових АКБ якого, потужністю 150 кВт·год., розміщені у двомостовому причепі [12]. Загальна пасажиромістимість електробуса з кузовом довжиною 11,715 м і шириною 2,5 м становить 85 чол. при 29 пасажирських сидіннях.

Доволі широкі дослідно-конструкторські роботи, пов'язані зі створенням електробусів підтипу ONC-V, теж уже ведуться у кількох країнах. У США виготовлений дослідний зразок електробуса з розміщенням замінних блоків тягових АКБ на даху кузова [13]. Енергопотужність його тягових АКБ становить 48,62 кВт·год. Над створенням і випробуваннями електробусів підтипу ONC-V працюють фахівці автобусобудівних підприємств Китаю [14], Польщі [15] та інших країн, а також виробники зарядних станцій. Порівняльний аналіз електробусів двох підтипів – ОС-В та ONC-V, з урахуванням необхідних зарядних станцій та станцій заряджання і заміни тягових АКБ, наведений у роботі [16].

На варіант електробуса із замінними блоками тягових АКБ, розміщеними у задній частині кузова, запропонованого автором статті, отриманий патент України [17].

Міські електробуси типу ОС – основні недоліки та шляхи їх мінімізації

Електробуси типу ОС на нинішній час являються єдиними реальними конкурентами електробусів підтипу ONC-C. Щоправда, мова йде лише про електробуси, обладнані тяговими АКБ, тобто про підтип ОС-В. Що стосується електробусів, у яких в якості автономних ДЕЕ використовуються СК, можна стверджувати, що вони не набули будь-якого широкого застосування у зв'язку з необхідністю дуже великих обсягів фінансування на будівництво необхідної інфраструктури. Обумовлені такі затрати тим, що для заряджання/ підзаряджання СК необхідна у кілька разів більша кількість зарядних станцій, розміщених біля зупинок, ніж для електробусів підтипу ОС-В.

Основними недоліками електробусів типу ОС являються:

- необхідність доволі частого підзаряджання тягових АКБ і значно частішого – тягових СК;
- збільшення інтервалів руху або збільшення кількості електробусів для забезпечення заданих інтервалів руху на міських маршрутах;
- велика маса тягових СК порівняно невеликої ємності (наприклад, маса блоків СК ємністю 32 кВт·год. електробуса моделі "Vitovt E490" всього на 60 кг менша маси тягових АКБ типу LiFePO₄ ємністю

167 кВт·год. для цього ж електробуса, відповідно, 1490 кг та 1550 кг, а його автономний пробіг становить або 22 км або 170 км);

- зменшення терміну експлуатації тягових АКБ, пов'язане із ультрашвидким процесом їх заряджання.

Основна перевага електробусів типу ОС-В полягає у більшій на 12-31 % пасажировмістимості (у залежності від величини автономного пробігу) у порівнянні з електробусами типу ОНС-С.

Отже, один із напрямків мінімізації недоліків електробусів підтипу ОС-В, пов'язаних з меншою пасажировмістимістю порівняно з міськими автобусами з дизельними двигунами, являється зменшення ємності тягових АКБ до величин, необхідних для забезпечення автономного пробігу в один або у два кінці, тобто і у зворотному напрямку конкретного маршруту. Звісно, застосування цього напрямку можливе лише за умови економічної доцільності.

Вимоги та умови ескізного проектування електробусів вибраних типів

Для проведення порівняльного аналізу на основі розроблення ескізних проектів міських електробусів були вибрані наступні чотири підтипи: ОНС-С, ОНС-Т, ОНС-В та ОС-В у кількох варіантах ємностей тягових АКБ.

Для розроблення ескізних проектів міських електробусів прийняті наступні вимоги та умови:

- допустима повна маса електробусів (без урахування маси причепів електробусів підтипу ОНС-Т) – 18000 кг (аналогічна допустимій масі двомостових автобусів);
- колісна формула – 4х2.1 (одинарні колеса на тяговому мості);
- габаритні розміри кузова електробусів усіх типів – довжина 11,0 м,

ширина – 2,55 м, висота – 2,635 м;

- автономний хід електробусів підтипу ОНС-С – 200 км;
- ємність тягових АКБ електробусів підтипів ОНС-Т та ОНС-В – 50 % розрахункової ємності тягових АКБ електробусів підтипу ОНС-С;
- ємність тягових АКБ електробусів підтипів ОС-В – 15 %, 25 % та 35 % розрахункової ємності тягових АКБ електробусів підтипу ОНС-С;
- застосування у ходових частинах і трансмісіях електробусів одних і тих же комплектувальних виробів, тобто однакових;
- застосування у ходових частинах електробусів незалежних підвісок одинарних коліс керованого та тягового мостів з пневматичними пружними елементами.

Таким чином, конструкції електробусів усіх прийнятих для проведення порівняльного аналізу підтипів тотожні за винятком систем заряджання тягових АКБ. Частково відрізняються також і планування пасажирських салонів електробусів за рахунок різної кількості встановлених пасажирських сидінь. Але маса одинарного сидіння з підставкою складає 10...14 кг, тому масою кількох таких сидінь можна знехтувати.

Визначення параметрів мас електробусів досліджуваних підтипів

До параметрів мас електробусів належать допустима повна маса, маса у спорядженому стані, порожня маса та допустима маса пасажирів.

Вираз для визначення допустимої повної маси електробусів можна записати у наступному вигляді:

$$M_{\Pi}^e = M_{\text{сп}}^k + \sum_{i=1}^n M_{\text{тp}_i} + \sum_{i=1}^n M_{\text{хч}_i} + m_{\text{ск}} + m_{\text{сз}} + m_{\text{акб}} + \sum_{i=1}^n M_{\text{ін}_i} + m_{\text{вод}} + M_{\text{пас}} \leq [M_{\Pi}], \quad (1)$$

де $M_{\text{сп}}^k$ – маса спорядженого кузова електробуса (без маси тягових АКБ, агрегатів трансмісії та ходової частини), кг; $\sum_{i=1}^n M_{\text{тp}_i}$ – маса агрегатів трансмісії (тягового електродвигуна, карданної передачі, редуктора головної

передачі), кг; $\sum_{i=1}^n M_{\text{хч}_i}$ – маса комплектувальних виробів ходової частини (підвісок коліс, колісних дисків і шин), кг; $m_{\text{ск}}$ – маса системи керування тяговим приводом, кг; $m_{\text{сз}}$ – маса відмінної частини системи заряджання

тягових АКБ, кг; $m_{акб}$ – маса блоків тягових АКБ, кг; $\sum_{i=1}^n M_{ін_i}$ – маса інших комплектувальних виробів (системи автономного опалення, системи кондиціонування повітря у пасажирському салоні, системи пневматичного приводу гальмових механізмів тощо), кг; $m_{вод}$ – розрахункова маса службової особи (водія), кг; $M_{пас}$ – маса пасажирів у відповідності до допустимої пасажировмістимості електробуса, кг.

Маса спорядженого кузова електробуса визначається за виразом, аналогічним наведеному в [1] на основі статистичного аналізу параметрів мас електробусів-аналогів:

$$M_{сп}^k = \Delta m_{сп}^k L_{куз}, \quad (2)$$

де $\Delta m_{сп}^k$ – питома маса кузова споряджених електробусів-аналогів без маси тягових АКБ,

$$\sum_{i=1}^n M_{хч_i} = m_{км} + m_{пкм} + m_{птм} + n_{кд} m_{кд} + n_{ш} m_{ш}, \quad (4)$$

де $m_{км}$ – маса керованого моста, кг; $m_{пкм}$ – маса підвіски керованого моста, кг; $m_{птм}$ – маса підвіски тягового моста, кг; $n_{кд}$ – кількість колісних дисків на обох мостах, кг; $m_{кд}$ – маса 1-го колісного диска відповідного типорозміру, кг; $n_{ш}$ – кількість шин на обох мостах, кг; $m_{ш}$ – маса 1-ї пневматичної шини відповідного типорозміру, кг.

Оскільки для розроблення ескізних проєктів міських електробусів порівнюваних типів вибрані керований та тяговий мости з неза-

$$\sum_{i=1}^n M_{(тр_i+хч_i)} = \sum_{i=1}^n M_{тр_i} + \sum_{i=1}^n M_{хч_i} = m_{ед} + m_{км}^п + m_{тм}^{п+р} + n_{кол} (m_{кд} + m_{ш}), \quad (5)$$

де $n_{кол}$ – загальна кількість одинарних коліс на обох мостах, шт.

Основні технічні параметри керованого і тягового мостів та коліс, якими вони обладнані, наведені у табл. 1.

До складу силової установки електробусів входить ТЕД моделі "TM4 SUMO MD HV2200-3P" виробництва канадської фірми

агрегатів трансмісії та ходової частини, кг/м; $L_{куз}$ – довжина кузова електробуса, м.

Для проведення розрахункових досліджень питома маса кузовів споряджених міських електробусів прийнята рівною $\Delta m_{сп}^k = 680$ кг/м (діапазон величин для міських автобусів $\Delta m_{сп}^k = 650-700$ кг/м).

Маса агрегатів трансмісії за умови використання тягового моста з незалежною підвіскою коліс визначається за виразом:

$$\sum_{i=1}^n M_{тр_i} = m_{ед} + m_{кп} + m_{тп}, \quad (3)$$

де $m_{ед}$ – маса тягового електродвигуна, кг; $m_{кп}$ – маса карданної передачі, кг; $m_{тп}$ – маса редуктора головної передачі, кг.

Формула для розрахунку маси комплектувальних виробів ходової частини у загальному випадку має наступний вигляд:

лежною підвіскою одинарних коліс виробництва італійсько-турецької компанії "Brist Axle S.r.l." моделей:

- IFS TJC 80-225 – керований міст з підвіскою коліс;
- IDS TJ 105-225 HR – тяговий міст з підвіскою коліс і редуктором головної передачі (ГП);

а для з'єднання валів ТЕД і редуктора ГП застосована компенсаційна муфта, сумарна маса агрегатів трансмісії та ходової частини електробусів рівна:

"Dana TM4 Inc." номінальною потужністю 215 кВт, маса якого 225 кг.

Для проведення розрахункових досліджень прийняті наступні величини мас: $m_{ск} = 300$ кг; $m_{сз} = 100$ кг для електробусів підтипу ОС-В (маса струмоприймального пристрою на даху кузова); $m_{сз} = 250$ кг для електробусів підтипу ОНС-В (маса змінних контейнерів для розміщення блоків тягових

АКБ); $m_{\text{сз}} = 550$ кг для електробусів підтипу ONC-T (маса причепа); $m_{\text{вод}} = 75$ кг.

Таблиця 1. Основні параметри керованого і тягового мостів та їх коліс

Модель моста	IFS TJC 80-225	IDS TJ 105-225 HR
Допустима навантага, кН	78,48	103,01
Маса моста, кг	460	580
Параметри коліс:		
- типорозмір дисків	22,5x8,25	22,5x11,75
- маса диска, кг	41	42
- типорозмір шин	315/70 R22.5	385/55 R22.5
- маса шини, кг	65	75

Маса інших складових частин та систем з урахуванням мас систем автономного опалення, кондиціонування повітря у пасажирському салоні, пневматичної системи підвіски коліс та приводу гальмових механізмів прийнята рівною $\sum_{i=1}^n M_{\text{ін}_i} = 1000$ кг.

Маса блоків тягових АКБ для електробусів підтипу ONC-C розраховується з умови достатньої енергопотужності для забезпечення необхідного автономного пробігу [1]:

$$W_{\text{акб}} = \frac{\Delta w_m [M_{\text{п}}]}{k_p} \sum_{i=1}^n L_{M_i}, \quad (6)$$

де Δw_m – питома витрата енергопотужності тягових АКБ з урахуванням маси електробуса, кВт·год./кг·км; k_p – коефіцієнт допустимого розрядження тягових АКБ; $\sum_{i=1}^n L_{M_i}$ – величина автономного пробігу електробуса під час роботи на маршруті, км.

$$M_{\text{пм}}^{\text{е}} = M_{\text{сп}}^{\text{к}} + \sum_{i=1}^n M_{(\text{тр}_i + \text{хв}_i)} + m_{\text{ск}} + m_{\text{сз}} + m_{\text{акб}} + \sum_{i=1}^n M_{\text{ін}_i} + m_{\text{вод}}. \quad (8)$$

Маса неврахованих комплектувальних виробів інших систем електробусів для проведення розрахункових досліджень прийнята рівною $\sum_{i=1}^n M_{\text{ін}_i} = 1000$ кг.

Розрахункові параметри мас міських електробусів досліджуваних підтипів наведені у табл. 3.

Автономний пробіг електробусів підтипу ONC-C прийнятий рівним $\sum_{i=1}^n L_{i_i} = 200$ км, а

середня витрата енергопотужності становить $\Delta w_m = (0,07-0,08) \cdot 10^{-3}$ кВт·год./кг·км.

Маса блоків тягових АКБ відповідного типу визначається за формулою:

$$m_{\text{акб}} = \frac{W_{\text{акб}}}{\rho_{\text{акб}}^w}, \quad (7)$$

де $\rho_{\text{акб}}^w$ – питома енергопотужність тягових АКБ, кВт·год./кг.

Для сучасних літєвих тягових АКБ типу LiFePO₄ $\rho_{\text{акб}}^w = 0,09-0,10$ кВт·год./кг, а коефіцієнт робочого діапазону $k_p = 0,85-0,9$.

Для проведення розрахунків прийнято $k_p = 0,85$; $\rho_{\text{акб}}^w = 0,10$ кВт·год./кг та $\Delta w_m = 0,075 \cdot 10^{-3}$ кВт·год./кг·км.

Розрахункові параметри тягових АКБ електробусів порівнюваних підтипів наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Основні параметри тягових АКБ у залежності від підтипів електробусів

Підтип електробуса	ONC			OC-B		
	-C	-T	-V	вар. 1	вар. 2	вар. 3
Тип тягових АКБ	LiFePO ₄					
Енергопотужність, $W_{\text{акб}}$, кВт·год	320	160+30		50	80	110
Маса тягових АКБ, $m_{\text{акб}}$, кг	3200	1600+300		500	800	1100

Порожня маса електробуса з виразу (1) визначається за формулою:

Аналіз розрахункових допустимих мас пасажирів типових, на нинішній час, міських електробусів показує, що:

- допустима маса пасажирів електробуса підтипу OC-B (вар. 1) на 2700 кг більша ніж аналогічного за розмірними параметрами електробуса підтипу ONC-C, тобто на 56 %, що становить 40 пас.;
- автономний хід електробуса підтипу OC-B (вар. 1) потребуватиме при протяж-

ності маршруту 20-30 км в одному напрямку необхідного встановлення двох зарядних станцій на кінцевих зупинках;

- електробус підтипу ОС-В (вар. 3) матиме,

порівняно з електробусом ОС-В (вар. 1), меншу на 9 чол. номінальну пасажировмістимість за рахунок меншої допустимої маси пасажирів на 600 кг.

Таблиця 3. Розрахункові параметри мас міських електробусів досліджуваних підтипів

Підтип електробуса	ONC-C	ONC-T	ONC-V	ОС-В		
				вар. 1	вар. 2	вар. 3
Довжина кузова, $L_{\text{куз}}$, м	11,0					
Маса спорядженого кузова, $M_{\text{сп}}^{\text{к}}$, кг	7480					
Маса агрегатів трансмісії і ходової частини, $\sum_{i=1}^n M_{(\text{тп}_i + \text{хч}_i)}$, кг	1500					
Маси інших складових частин:						
- $\sum_{i=1}^n M_{\text{ін}_i}$	1000					
- $m_{\text{ск}}$, кг	300					
- $m_{\text{сз}}$, кг	-	550	250	100		
Маса тягових АКБ, $m_{\text{акб}}$, кг	3200	300	1600	500	800	1100
Порожня маса електробуса, $M_{\text{пм}}^{\text{е}}$, кг	13480	10580	12130	10880	11180	11480
Допустима маса пасажирів, $M_{\text{пас}}$, кг	4520	7420	5870	7120	6820	6520

Визначення параметрів пасажировмістимості електробусів досліджуваних підтипів

До параметрів пасажировмістимості електробусів відносяться загальна вмістимість, кількість пасажирських сидінь, встановлених у пасажирських салонах, та кількість пасажирів, які можуть перевозитись у стоячому положенні.

Номінальна пасажировмістимість електробусів обмежується двома параметрами:

- площею пасажирського салону, призначеною для розміщення пасажирських сидінь та стоячих пасажирів;
- допустимою масою пасажирів.

Номінальна пасажировмістимість за допустимою масою пасажирів визначається за виразом:

$$N_{\text{пас}} \leq \frac{[M_{\text{п}}] - M_{\text{пм}}^{\text{е}}}{m_{\text{пас}}}, \quad (9)$$

де $m_{\text{пас}}$ – розрахункова маса пасажирів, кг.

Для міських електробусів, відповідно до вимог Правил ЕЭК ООН № 107, маса 1-го пасажирів $m_{\text{пас}} = 68$ кг.

Номінальна пасажировмістимість міських електробусів за площею пасажирського салону, призначеною для розміщення пасажирських сидінь та стоячих пасажирів становить:

$$N_{\text{пас}} \leq n_{\text{сид}} + \frac{S_{\text{ст}}}{q_{\text{пас}}}, \quad (10)$$

де $n_{\text{сид}}$ – кількість одинарних пасажирських сидінь, встановлених у пасажирському салоні, од.; $S_{\text{ст}}$ – площа підлоги пасажирського салону, на якій можуть розміщатися пасажирів у стоячому положенні, м²; $q_{\text{пас}}$ – питома площа для розміщення 1-го стоячого пасажирів.

Для міських електробусів приймається $q_{\text{пас}} = 0,125$ м²/пас., що становить 8 пас./м² (максимальна величина)

Мінімальна кількість одинарних пасажирських сидінь, які повинні бути встановлені у пасажирському салоні міських електробусів, становить, відповідно до [16]:

$$0,9S_{\text{пс}} \leq n_{\text{сид}}^{\text{мін}} \leq S_{\text{пс}}, \quad (11)$$

де $S_{\text{пс}}$ – площа пасажирського салону для розміщення пасажирських сидінь та стоячих пасажирів, м^2 .

Для електробусів розроблених ескізних проектів $S_{\text{пс}} = 19,4 \text{ м}^2$ (визначена графічним способом).

Отже, мінімально допустима кількість одинарних сидінь у пасажирському салоні становить $17 \leq n_{\text{сид}}^{\text{мін}} \leq 19$.

Максимально можлива кількість одинарних пасажирських сидінь обумовлюється:

- площею пасажирського салону, призначеною для розміщення пасажирських сидінь та стоячих пасажирів;
- можливими варіантами планувань пасажирського салону.

Ескізні проекти електробусів досліджуваних типів

Базовий кузов міських електробусів усіх досліджуваних підтипів обладнаний відокремленим салоном. Для забезпечення зручного входу-виходу з салону передбачено двоє подвійних пасажирських дверей. Вхід до відділення водія – через окремі передні одинарні двері. Основні блоки тягових АКБ електробусів підтипів ONC-V та ОС-В розміщуються у задній частині кузовів, а підтипу ONC-T – у задній частині та на даху кузова. Кузови електробусів усіх чотирьох підтипів однакові, за винятком систем розміщення тягових АКБ та систем їх заряджання/підзаряджання.

Бокові проекції розроблених ескізних проектів міських електробусів досліджуваних підтипів наведені на рис. 1.

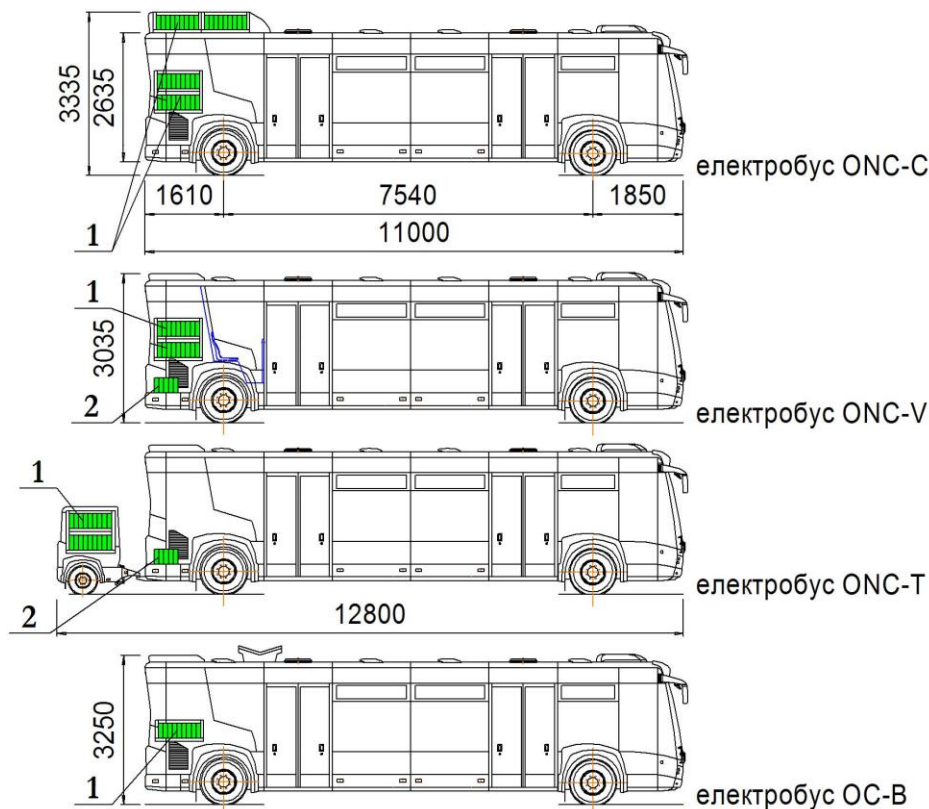


Рис. 1. Типи і підтипи міських електробусів: 1 – основні блоки тягових АКБ; 2 – резервні блоки тягових АКБ

Планування пасажирських салонів для усіх підтипів міських електробусів однакові і розроблені з умови забезпечення маршрутів з різною інтенсивністю пасажиропотоків [18] у трьох варіантах, наведених на рис. 2.

Розрахункова допустима пасажиромісткість міських електробусів за площею пасажирського салону у різних варіантах планування наведена у табл. 4.

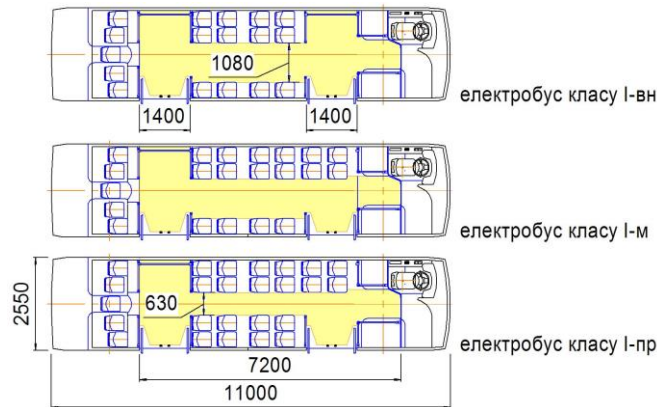


Рис. 2. Варіанти планування міських електробусів для пасажиропотоків різної інтенсивності

Таблиця 4. Допустима вмістимість міських електробусів різних підтипів за площею пасажирського салону

Клас електробуса	I-вн	I-м	I-пр
Допустима пасажиромістимість, чол.:	100	95	87
- кількість пасажирських сидінь, $n_{сид}$, од.	17	21	25
- площа для стоячих пасажирів, $S_{ст}$, м ²	10,42	9,24	7,80
- кількість стоячих пасажирів, $n_{ст}$, чол.:	83	74	62

Незважаючи на доволі суттєві втрати площі пасажирського салону (арки коліс керованого моста та у задній частині для роз-

міщення блоків тягових АКБ) допустима пасажиромістимість електробусів суттєво вища ніж у електробусів класичного компонування з колісною формулою 4x2.2, довжина кузовів яких становить 12,0 м (див. наступний підрозділ).

Визначення номінальної пасажиромістимості електробусів досліджуваних підтипів

Розрахункові параметри пасажиромістимості досліджуваних міських електробусів різних типів та підтипів, зокрема, номінальна вмістимість, наведені у табл. 5.

Таблиця 4. Параметри пасажиромістимості міських електробусів різних підтипів

Підтип електробуса	ONC-C	ONC-T	ONC-V	OC-B		
				вар. 1	вар. 2	вар. 3
Допустима пасажиромістимість, чол.:						
- за площею пасажирського салону:						
- варіант 1			100			
- варіант 2			95			
- варіант 3			87			
- за допустимою повною масою	67	109	86	105	100	96
Номінальна пасажиромістимість, $N_{іан}$, чол.:						
- варіант 1		100		100		96
- варіант 2	67	95	86		95	
- варіант 3		87			87	

Визначення автономного ходу електробусів досліджуваних підтипів

Середні величини автономного пробігу міських електробусів у залежності від типу та енергопотужності встановлених тягових АКБ без їх підзарядження визначаються за формулою, отриманою з виразу (6):

$$L_{ax} = \frac{k_p W_{акб}}{\Delta w_m M_{II}^e}, \quad (12)$$

Розрахункові величини автономного ходу електробусів різних типів та підтипів, обладнаних тяговими АКБ типу LiFePO₄ наведені у табл. 5.

Таблиця 5. Середній автономний хід міських електробусів порівнюваних підтипів

Підтип електробуса	ОНС			ОС-В		
	-С	-Т	-V	вар. 1	вар. 2	вар. 3
Автономний хід, L_{ax} , км	200	107	100	32	50	69

Аналіз технічної досконалості міських електробусів різних типів

Для проведення порівняльного аналізу міських електробусів, ескізні проекти яких розроблені за умови дотримання принципу "при інших однакових умовах", вибрані найбільш характерні та визначальні конструктивні, а також експлуатаційні параметри:

- повна конструктивна маса;
- довжина кузова електробуса;
- номінальна пасажиромістимість; автономний пробіг без підзаряджання тягових АКБ, та відповідні критерії технічної досконалості їх конструкцій:
- коефіцієнти конструктивної ефективності електробусів – першого складника системи "міський електробус – необхідна інфраструктура": за порожньою масою, за довжиною кузова та за номінальною пасажиромістимістю;
- коефіцієнт експлуатаційної ефективності міських електробусів без урахування інвестицій на будівництво та обслуговування мережі зарядних станцій необхідної потужності;
- коефіцієнт технічної досконалості конструкцій міських електробусів.

Коефіцієнти конструктивної ефективності електробусів різних типів та підтипів на основі виразу, наведеного в роботі [19], визначаються:

– за порожньою масою:

$$E_k^{пор} = 1 - \frac{M_{п}^e}{M_{пм}^e}; \quad (13)$$

– за номінальною пасажиромістимістю:

$$E_k^N = k_k \left(\frac{10^{-2} M_{п}^e}{N_{пас}} \right)^{-1}, \quad (14)$$

де k_k – розмірний коефіцієнт, кг /чол.;

– за довжиною кузова:

$$E_k^l = k_l \frac{N_{пас}}{10L_k}, \quad (15)$$

де k_l – розмірний коефіцієнт, м/чол.

Коефіцієнт експлуатаційної ефективності міських електробусів без урахування інвестицій на будівництво та експлуатацію зарядних станцій визначається за формулою:

$$E_{ев} = 0,5 + k_e \frac{10^2 N_{пас} L_{ax}}{W_{акб} M_{п}^e}, \quad (16)$$

де k_e – коефіцієнт, розмірність якого – кВт·год./чол·км.

Коефіцієнт технічної досконалості міських електробусів характеризує узагальнений коефіцієнт конструктивної, експлуатаційної та економічної ефективності:

$$E_{тд} = (1 - 0,2n_{зс}) \times (E_k^{пм} + E_k^l + E_k^N + E_{ев} - 1), \quad (17)$$

де $n_{зс}$ – кількість зарядних станцій, необхідних для забезпечення роботи електробусів підтипу ОС-С на маршрутах, од.

Розрахункові величини коефіцієнтів ефективності та технічної досконалості міських електробусів порівнюваних підтипів наведені у табл. 6 та на рис. 3 і рис. 4.

Аналіз коефіцієнтів конструктивної ефективності (рис. 3) показує, що:

- серед розглянутих підтипів міських електробусів типу ОНС усі коефіцієнти конструктивної ефективності електробусів підтипу ОНС-С менші ніж підтипів ОНС-Т та ОНС-V: $E_k^{пор}$, відповідно, на 14 % і 24 %, E_k^N на 33 % і 23 %, E_k^l на 22-33 % і 22 %;
- електробуси підтипу ОС-С в усіх трьох варіантах за енергопотужністю блоків тягових АКБ за коефіцієнтами конструктивної ефективності переважають електробуси типу ОНС усіх підтипів.

Таблиця 6 – Коефіцієнти ефективності та технічної досконалості міських електробусів різних підтипів

Підтип електробуса	ONC-C	ONC-T	ONC-V	OC-B		
				вар. 1	вар. 2	вар. 3
Коефіцієнти конструктивної ефективності:						
- за порожньою масою, $E_k^{пор}$	0,25	0,29	0,33	0,39	0,38	0,36
- за довжиною кузова* ¹ , E_k^1	0,61	0,91/0,78* ²	0,78	0,91		0,87
- за номінальною пасажиромістимістю* ¹ , E_k^N	0,37	0,55	0,48	0,55		
Коефіцієнт експлуатаційної ефективності, $E_{ев}$	0,73	0,78* ²	0,80	0,86	0,85	0,83
Необхідна кількість зарядних станцій, $n_{зс}$, од.	-	-	-	2		1
Коефіцієнт технічної досконалості, $E_{тд}$	0,96	1,40	1,39	1,03	1,01	1,27

Примітки: *¹При максимальній номінальній пасажиромістимістю за варіантом 1 планування пасажирського салону. *²З урахуванням довжини електробуса з причетом

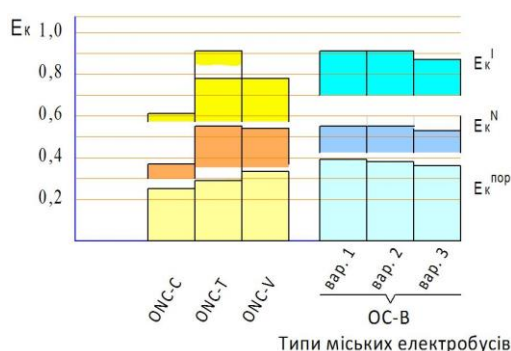


Рис. 3. Коефіцієнти конструктивної ефективності міських електробусів

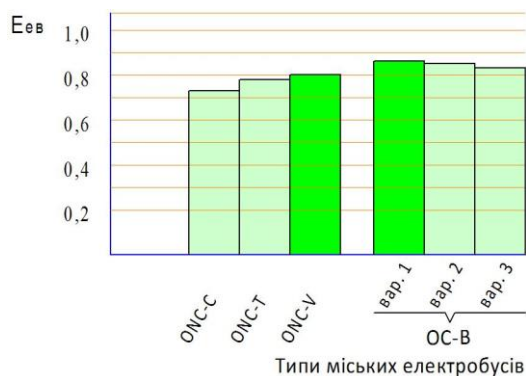


Рис. 4. Коефіцієнт експлуатаційної ефективності міських електробусів

На основі аналізу коефіцієнтів експлуатаційної ефективності міських електробусів розглянутих підтипів (рис. 4) впливає що:

- найвищі показники коефіцієнта експлуатаційної ефективності без врахувань витрат на будівництво та експлуатацію мережі зарядних станцій цілком очікувано належать електробусам підтипу OC-B;
- серед електробусів типу ONC найкращий коефіцієнт експлуатаційної ефективності мають електробуси підтипу ONC-V, який

вищий на 9,6 % і на 2,6 % відповідно підтипів ONC-C та ONC-T;

- коефіцієнт ефективності експлуатації електробусів підтипу ONC-V лише на 7,5 % менший ніж підтипу OC-B, вар. 1.

Порівняння коефіцієнтів технічної досконалості (рис. 5) міських електробусів показує, що значно вищі показники мають електробуси трьох підтипів – ONC-T, ONC-V і OC-B, вар. 3.

Різниця відносно електробуса підтипу ONC-T складає менше 1 % (ONC-V) та 10 % (OC-B, вар. 3). Зрозуміло, що відносно точна оцінка інвестиційних витрат, необхідних на будівництво мережі зарядних станцій для експлуатації електробусів підтипу OC-B, не видається можливою. Та все ж, запропонований вираз (17) достатньо об'єктивно оцінює технічну досконалисть системи "міський електробус – інфраструктурна мережа" (рис. 5), особливо за умови великої кількості маршрутів, які пересікаються на зупинках, обладнаних зарядними станціями.

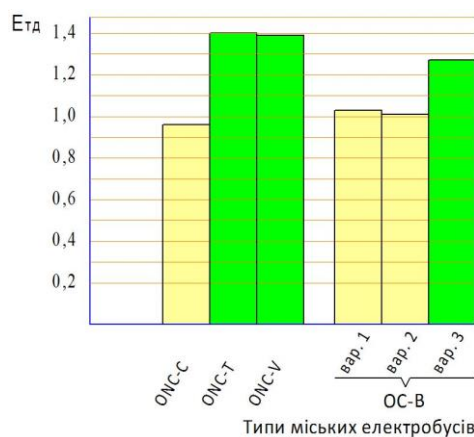


Рис. 5. Коефіцієнт технічної досконалості міських електробусів

Висновки

Результати проведених досліджень з аналізу технічної досконалості міських електробусів розглянутих підтипів на основі запропонованої методики порівняння їх основних технічних, експлуатаційних та економічних параметрів (при інших однакових параметрах) показують, що за умови забезпечення однакового середньодобового автономного пробігу 200 км:

- проектування, освоєння виробництва та експлуатація міських електробусів підтипу ONC-C являються не доцільними, оскільки коефіцієнт їх технічної досконалості на 32-31 % нижчий ніж підтипів ONC-T та ONC-V;
- з урахуванням нинішнього стану економічного розвитку України на найближчі 10-15 років пропонується проектування перспективних конкурентоспроможних міських електробусів підтипу ONC-V, особливо за умови створення зчленованих електробусів великої пасажировмістимості;
- на подальшому етапі, у разі суттєвого зростання вітчизняної економіки, можливим видається проектування, виробництво і експлуатація міських електробусів типу ОС, у першу чергу, ОС-В з оптимізованими параметрами пасажировмістимості та енергопотужності тягових АКБ.

Загалом, проектування перспективних конкурентоспроможних міських електробусів повинно здійснюватися на основі:

- застосування методів модульного проектування типорозмірних рядів електробусів різної пасажировмістимості підкласів І-вн, І-м та І-пр;
- застосування принципів максимальної уніфікації конструкцій електробусів усіх типорозмірів;
- оптимізації основних технічних параметрів електробусів [20] з урахуванням умов експлуатації у різних за чисельністю населення – малих, середніх та великих – містах, у першу чергу параметрів міських вулиць та інтенсивності пасажиропотоків;
- аналізу потужностей існуючих міських електромереж, електричних підстанцій та їх розташування, а також економічно доцільного збільшення виробництва електроенергії з відновлюваних джерел.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Войтків С. В. (2019). Напрямки створення конкурентоспроможних міських електробусів великого класу. Збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту". Кропивницький : ЦНТУ. Voitkiv S. V. (2019). Napriamky stvorennia konkurentospromozhnykh miskykh elektrobusev velykoho klasu [Directions of creation of competitive city electric buses of a large class. Collection of scientific materials of the international scientific-practical Internet conference "Innovative technologies of development and efficiency of functioning of motor transport"]. Zbirnyk naukovykh materialiv mizhnarodnoi naukovo-pyaktichnoi internet-konferentsii "Innovatsiini tekhnolohii rozvytku ta efektyvnosti funktsionuvannia avtomobilnoho transportu". Kropyvnytskyi : CNTU, 13–24. [in Ukrainian].
2. Kim, H., Hartmann, N., Zeller, M., Luise, R. & Soyly, T. (2021). Comparative TCO Analysis of Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Buses for Public Transport System in Small to Midsize Cities. *Energies*, 14, 4384. 31. <https://doi.org/10.3390/en14144384>.
3. Dirks, N., Schiffer, M. & Walther, G. (2021). On the Integration of Battery Electric Buses into Urban Bus Networks. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/350341739>.
4. Houbbadi, A., Pelissier, S., Trigui, R., Redondo-Iglesias, E. & Bouton, T. (2019). Overview of Electric Buses deployment and its challenges related to the charging – the case study of TRANSDEV. EVS32 International Electric Vehicle Symposium. Retrieved from <https://doi.org/hal.archives-ouvertes.fr/hal-02148377/document>.
5. Verbrugge, B., Hasan, M. M, Rasool, H., Geury, T., Baghdadi M. E. & mar Hegazy, O. (2021). Smart Integration of Electric Buses in Cities: A Technological Review. *Sustainability*. 13, 12189. <https://doi.org/10.3390/su132112189>.
6. Meishner, F. & Uwe Sauer, D. (2019). Technical and economic comparison of different electric bus concepts based on actual demonstrations in European cities. *IET Electrical Systems in Transportation*. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2019.0014>.
7. Olsson, O., Grauers, A. & Pettersson, S. (2016). Method to analyze cost effectiveness of different electric bus systems. EVS29 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium. Retrieved from <https://doi.org/diva->

- portal.org/smash/get/diva2:1159796/FULLTEXT01.pdf.
8. Olmos, J., López-Ibarra, J. A. & Herrera, V. (2019). Analysis of Optimal Charging Points Location and Storage Capacity for Hybrid and Full Electric Buses. Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). <https://doi.org/10.1109/EVER.2019.8813576>.
 9. Mahmoud, M., Garnett, R. & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.05.019>.
 10. MAN presented its first electric bus some 50 years ago. Retrieved from <https://www.urban-transport-magazine.com/en/man-presented-its-first-electric-bus-some-50-years-ago/11>.
 11. Un prolongateur d'autonomie a pile hydrogene pour bus et cars electriques. [A hydrogen battery autonomy extender for electric buses and coaches]. Retrieved from <https://www.avem.fr/2020/02/07/un-prolongateur-dautonomie-a-pile-hydrogene-pour-bus-et-cars-electriques/#>. [in France].
 12. "Пионер". Низкопольный электробус с использованием МАС. ["Pioneer". Low-floor electric bus using MAC]. Retrieved from <https://pk-ts.org/produkcija/pioner/>. [in Russian].
 13. Kim, J., Song, I. & Choi, W. (2015). An Electric Bus with a Battery Exchange System. *Energies*, 8. <https://doi.org/10.3390/en8076806>.
 14. Zhu, C. & Chen, X. (2013). Optimizing Battery Electric Bus Transit Vehicle Scheduling with Battery Exchanging: Model and Case Study. *Social and Behavioral Sciences*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.306>.
 15. Ruszyła pierwsza stacja wymiany baterii w elektrobusech. [The first battery replacement station in electric buses has started]. Retrieved from https://transinfo.pl/infobus/ruszy-la-pierwsza-stacja-wymiany-baterii-w-elektrobusech-more_109959/. [in Poland].
 16. Fang, S-C., Ke, B-R. & Chung, C-Y. (2017). Minimization of Construction Costs for an All Battery-Swapping Electric-Bus Transportation System: Comparison with an All Plug-In System. *Energies*, 10, 890. <https://doi.org/10.3390/en10070890>.
 17. Войтків, С. В. (2018). Електробус із замінним блоком акумуляторних батарей. Патент України 132157. Київ: ДП "Український інститут інтелектуальної власності".
 18. Войтків, С. В. (2021). Типізація пасажирських колісних транспортних засобів І-класу за параметрами вмістимості. Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула ХНАДУ. Харків : ХНАДУ. 29-32. [Voitkiv, S. V. \(2021\). Typizatsiia pasazhyrskyykh kolisnykh transportnykh zasobiv I-klasu za parametramy vmistymosti \[The typification of passenger wheeled vehicles of the I-class by capacity parameters\]. *Novitni tekhnolohii v avtomobilebuduvanni, transporti ta pry pidhotovtsi fakhivtsiv. Naukovi pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenoї 90-richchiu kafedry avtomobiliv im. A. B. Hredeskula KhNADU. : KhNADU. 29-32. \[in Ukrainian\]*.](https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01)
 19. Войтків, С. В. (2021). Шляхи покращення економічних показників перспективних міських електробусів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Електронне наукове спеціалізоване видання. Харків : ХНАДУ. 14(4), 12-21. [Voitkiv, S. V. \(2018\). Shliakhy pokrashchennia ekonomichnykh pokaznykiv perspektivnykh miskyykh elektrobusiv \[Ways of improving economic indicators of high-potential city electric buses\]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii: Elektronne naukove spetsializovane vydannia. Kharkiv : KhNADU. 14\(4\), 12-21. \[in Ukrainian\]*. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.14.0.12/>](https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.14.0.12/)
 20. Войтків С. В. (2021). Методика оптимізації основних технічних параметрів перспективних міських електробусів типу ОНС. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Електронне наукове спеціалізоване видання. Харків : ХНАДУ. 20. 6-16. [Voitkiv, S. V. \(2021\). Metodyka optymizatsii osnovnykh tekhnichnykh parametriv perspektivnykh miskyykh elektrobusiv typu ONC \[The method of optimizing the main technical parameters of the promising city electric buses of ONC Type\]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii: Elektronne naukove spetsializovane vydannia. Kharkiv : KhNADU. 20. 6-16. \[in Ukrainian\]*. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01>.](https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01)

Войтків Станіслав Володимирович¹, к.т.н., генеральний конструктор, voitkivsv@ukr.net, тел. +38 067-447-04-90, ORCID: 0000-0002-7789-2081

¹Науково-технічний центр "Автополіпром", 79066, Україна, м. Львів, вул. Зубрівська, 32/24.

Analyzing technical perfection of city electric buses of various types

Abstract. Problem. Electric buses of various types are becoming increasingly used for passenger transport on urban routes in almost all European countries and in many countries in America and Asia, especially in China. However, in our country, in contrast to Belarus, Russia and some other countries of the former Soviet Union, city electric buses of two types have been undergoing operational tests for only a few years now. **Goal.** Determination and selection of the optimal type of city electric bus for the creation and organization of serial production of promising competitive electric buses at Ukrainian enterprises and their further operation on urban routes. **Methodology.** The choice of the type of perspective for domestic economic development systems of urban passenger transport systems is based on the analysis of technical parameters of city electric buses of different types, sketches of which are developed on the basis of maximum identity of their designs, and economic parameters of "city electric bus type. **Results.** Five variants of sketch designs of city electric buses of different types (ONC, ONC-T, ONC-V, OC-B and OC-S) were developed based on the assessment of design and operational parameters

of electric buses and economic parameters of the system "city electric bus - necessary infrastructure". **Originality.** The method of the analysis of technical perfection of city electric buses of various types which sketch projects are developed on the basis of application of the principle "under other identical conditions", that is, maintenance of the maximum identity of their designs is offered. **Practical value.** The choice of the type of city electric bus for the design of promising competitive structures that are most suitable for use in urban passenger transport systems at this stage of economic development of Ukraine.

Key words: first class electric bus city electric bus; technical excellence of the electric bus; passenger capacity of the electric bus; parameters of the mass of the electric bus; autonomous run; charging station infrastructure.

Voytkiv Staniskav¹, Cand. of Science, General Designer, тел. +38 067-447-04-90, voytktivsv@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7789-2081

¹Scientific and technical Center "Autopoliprom", 32/24, Zubrivska, str., Lviv, 79066, Ukraine.