

УДК 629.02, 629.341

НАПРЯМКИ СТВОРЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНИХ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ ВЕЛИКОГО КЛАСУ

Войтків С.В., к.т.н., генеральний конструктор
Науково-технічний центр "Автополіпром"

Abstract

Over the past few years of the active development of electric buses, leading companies from different countries have developed several types of promising large-class city electric buses. They differ in the type of autonomous sources of electrical energy and systems for their recharging and / or recharging. Currently, urban electric buses with an overall length of 12.0 m of types ONC (systems for slow charging of traction batteries at night) and OS (systems for fast and ultra-fast recharging of traction batteries or supercapacitors) have received the greatest application. Each of these systems has both advantages and disadvantages. For the development of domestic electric buses, it is very important to choose the optimal directions for creating promising competitive large-class city electric buses. Recommendations on the selection of such areas are developed based on the consideration and analysis of the technical parameters and performance indicators of the existing types of electric buses and the two proposed types.

Keywords: electric bus, charging system, energy consumption, traction batteries, competitiveness, technical level

Вступ

Низькопідлогові електробуси великого класу, габаритна довжина яких становить, здебільшого, $12,0 \pm 0,2$ м, набувають все більшого застосування для міських перевезень пасажирів у багатьох європейських країнах. За прогнозами міжнародної аналітичної агенції "Interact Analysis" обсяги світового ринку електробусів у 2025 році сягнуть позначки 165 тис./рік.

На нинішній час багатьма провідними європейськими, китайськими, американськими та іншими автобусовиробниками розроблені конструкції міських низькопідлогових електробусів різних типів. Більшість з них виготовляються серійно і успішно експлуатуються у багатьох країнах світу. Інші, наразі, існують у вигляді дослідних або експериментальних зразків і проходять тестові випробування. Вони відрізняються компоувальними схемами, колісними формулами, типам автономних джерел електричної енергії (ДЕЕ) живлення їх електричних тягових приводів (ЕТПр), системами заряджання і/або підзаряджання автономних ДЕЕ тощо.

Українські підприємства – СП "Електронтранс" та корпорація "Богдан" – теж зробили перші кроки у сфері електробусобудування. Розроблені ними і виготовлені лише два дослідні зразки електробусів проходять тестову експлуатацію. Зрозуміло, що одним із найактуальніших завдань вітчизняного автобусобудування на найближчі три-п'ять років являється розроблення конструкцій і організація дрібносерійного виробництва перспективних міських низькопідлогових електробусів, конкурентоспроможних не тільки на

внутрішньому ринку, а й на ринках європейських та інших країн. Однією з передумов його успішного рішення являється наявність у створюваних електробусів бодай однієї, а то й двох, конкурентних переваг перед міськими електробусами-аналогами великого класу (ВКл) адекватної габаритної довжини.

Аналіз попередніх досліджень

До великого класу належать електробуси з габаритною довжиною понад 10,0 м до 12,0 м включно [1]. Переважна більшість сучасних міських низькопідлогових електробуси ВКл спроектована за класичною колісною формулою 4x2.2 на основі застосування приводних мостів трьох основних типів:

- порталних механічних з подвійною рознесеною головною передачею, наприклад, моделі ZF AV 133 [2];
- інтегрально-портальних електромеханічних, обладнаних двома тяговими електричними двигунами і двома проміжними редукторами, наприклад, моделі ZF AVE 130 [2];
- інтегрально-портальних електричних, обладнаних двома тяговими електричними двигунами (без додаткових механічних редукторів), наприклад, моделі 'ZAwheel v1.0' [3].

Вони характеризуються збільшеною, регламентованою відповідними нормативними актами, допустимою навантагою, яка становить 13000 кг. Відтак, і регламентована допустима повна маса електробусів з колісною формулою 4x2.2 збільшена до 19500 кг, тобто на 1500 кг у порівнянні з допустимою масою автобусів (18000 кг), обладнаних дизельними або газовими двигунами і приводними мостами з допустимою навантагою 11500 кг. Такі величини допустимої навантаги на приводні мости та допустимої повної маси електробусів прийняті для забезпечення збільшення їх пасажировмістимості. Адже, пасажировмістимість електробусів ВКл з габаритною довжиною біля 12,0 м і повною масою 18000 кг становить 65-85 чол., а для автобусів вона рівна 100-105 чол. Але збільшення допустимої повної маси електробусів до 19500 кг хоча й сприяє зростанню їх пасажировмістимості до тих же 100-105 чол., являється не прийнятним для українського електробусобудування. Більша допустима навантага на приводні мости порталного та інтегрально-портального типів на 1500 кг і їх великі невіднеслені маси набагато інтенсивніше руйнують покриття міських вулиць, які і так перебувають у далеко не належному стані. Навіть європейські та китайські виробники міських електробусів обмежились при їх проектуванні допустимою повною масою у 19000 кг.

Для живлення електричних тягових приводів сучасних міських електробусів ВКл застосовуються різні типи автономних ДДЕ та різні системи їх заряджання і/або підзаряджання. Але найбільшого розповсюдження набули тягові акумуляторні батареї (АКБ) та суперконденсатори (СК), які мають ще одну назву - іоністори.

Основні типи сучасних міських електробусів за цими класифікаційними ознаками та їх запропоновані позначення, розроблені на основі [4-5], наведені у табл. 1.

Таблиця 1 Загальна характеристика електробусів основних типів

Тип електробуса	Тип ДЕЕ		Системи заряджання і/або підзаряджання ДЕЕ			
	тягові АКБ	тягові СК	статична		динамічна (під час руху)	
			у парку	на зупинках	дротова	індукційна
ОНС	+	-	+	-	-	-
ОС-В	+	-	-	+	-	-
ОС-S	-	+	-	+	-	-
ІМС-В	+	-	-	-	+	-
ІМС-S	-	+	-	-	+	-

Позначення: ОНС (overnight charging) – система заряджання тягових АКБ у нічний час; ОС (Opportunity charging) – система ультрашвидкого підзаряджання ДЕЕ на зупинках; В (battery) – тягові АКБ; S (supercapacitor) – тягові СК; ІМС (In-Motion-Charging) – система підзаряджання ДЕЕ під час руху

Постановка проблеми

Розроблення конструкцій нових міських низькопідлогових електробусів ВКл, особливо з габаритною довжиною біля 12,0 м, для вітчизняного електробусобудування, яке знаходиться на початковому етапі його розвитку, являється дуже складним і відповідальним завданням. Адже на світовому ринку транспортних засобів загального користування, призначених для міських перевезень пасажирів і обладнаних ЕТПр, конкуренція саме у цьому сегменті міських електробусів надзвичайно велика. Тому успішне рішення цього завдання не можливе без створення виключно конкурентоспроможних конструкцій міських низькопідлогових електробусів, причому не лише на внутрішньому ринку.

Мета та завдання

Мета роботи – вибір напрямків створення перспективних міських низькопідлогових електробусів ВКл з умов забезпечення успішного завершення дослідно-конструкторських та дослідно-експериментальних робіт і освоєння їх дрібносерійного виробництва. Основні завдання роботи передбачають розроблення, аналіз та оцінку перспективності запропонованих напрямків за конструкційними та експлуатаційними параметрами електробусів та систем забезпечення електричною енергією їх автономних ДЕЕ.

Результати вирішення основних завдань проблеми

Доцільність створення, освоєння виробництва і експлуатації перспективних міських електробусів ВКл того чи іншого типу характеризується, у першу чергу, необхідними обсягами фінансування

$$\sum C = C_E + C_{\dot{A}} + C_{Q\dot{V}}, \quad (1)$$

де C_E - витрати на проектування електробусів, виготовлення їх дослідних зразків, приймальні та сертифікаційні випробування тощо, млн. грн.; $C_{\dot{A}}$ -

витрати на технологічну підготовку виробництва електробусів, млн. грн.; $C_{Q\tilde{N}}$ - витрати на формування мережі та інфраструктури зарядних станцій, млн. грн.

Найбільших сумарних витрат потребує впровадження міських електробусів типу ОС за рахунок у кілька разів більших обсягів фінансування на формування інфраструктури зарядних станцій, особливо за умови застосування у якості автономних ДЕЕ тягових СК. Вкрай необхідну у нинішніх українських соціально-економічних реаліях мінімізацію обсягів фінансування на широке впровадження і застосування електробусів для міських перевезень пасажирів забезпечують лише електробуси типу ОНС, обладнані тяговими АКБ, за рахунок найменших обсягів $C_{Q\tilde{N}}$. Таких же обсягів $C_{Q\tilde{N}}$ потребують і електробуси типу ІМС, але вони можуть експлуатуватися лише у містах з розвинутою мережею тролейбусних маршрутів.

Отже, на найближчі, щонайменше, десять років для вітчизняних електробусобудівників єдиним реальним напрямком являється створення електробусів типу ОНС.

Створення сучасних конкурентоспроможних міських низькопідлогових електробусів ВКл, у т.ч. типу ОНС, можливе лише шляхом зменшення собівартості виробництва електробусів адекватного технічного рівня (тобто зменшення ринкової вартості) або шляхом підвищення їх технічного рівня за умови мінімізації необхідних для цього обсягів фінансування.

Конкурентоспроможність перспективних міських електробусів ВКл типу ОНС, обладнаних тяговими АКБ, у порівнянні з такими ж електробусами-аналогами, забезпечується двома напрямками, які полягають:

- у збільшенні пасажировмістимості при адекватній повній масі за рахунок зменшення їх спорядженої маси;
- у зменшенні витрат енергоємності тягових АКБ на перевезення однакової кількості пасажирів на одному і тому ж маршруті.

Пасажировмістимість міських електробусів обмежується двома параметрами – допустимою повною масою та корисною площею пасажирського салону. За допустимою повною масою пасажировмістимість міських електробусів

$$N_{nac}^m \leq \frac{[M_n^e] - M_{cn}}{m_{nac}} \quad (2)$$

де $[M_n^e]$ - допустима повна маса електробуса, кг; M_{cn} - споряджена маса електробуса, кг; m_{nac} - маса одного пасажирів, кг; для міських електробусів регламентоване значення $m_{nac} = 68$ кг.

Вираз для визначення спорядженої маси електробусів типу ОНС можна записати у вигляді

$$M_{cn} = M_{cn}^k + m_{акб}, \quad (3)$$

де M_{cn}^k - споряджена маса електробуса без тягових АКБ, кг, $m_{акб}$ - маса тягових АКБ, кг.

Отже, зменшення спорядженої маси електробусів можливе або за рахунок застосування легших конструкційних матеріалів для виготовлення їх кузовів або зменшенням маси тягових АКБ. Застосування для виготовлення кузовів електробусів алюмінієвих сплавів або тільки композиційних матеріалів видається недоцільним, оскільки передбачає освоєння виробництва відповідних матеріалів і складних технологічних процесів. До того ж, цей напрям вимагає і великих обсягів фінансування на технологічну підготовку виробництва кузовів електробусів з цих матеріалів. Тому, єдиним реальним шляхом зменшення спорядженої маси перспективних міських електробусів з колісною формулою 4х2.2 являється зменшення маси тягових АКБ.

Маса тягових АКБ міських електробусів визначається за наступним виразом

$$m_{акб} = W_{акб} / \rho_{w_{акб}}, \quad (4)$$

де $W_{акб}$ - енергоємність тягових АКБ, кВт·год.; $\rho_{w_{акб}}$ - питома енергоємність тягових АКБ, кВт·год./кг; для сучасних літєвих тягових АКБ типу $LiFePO_4$ $\rho_{w_{акб}} = 0,09-0,10$ кВт·год./кг, а типу $Li_4Ti_5O_{12}$ - $0,07-0,08$ кВт·год./кг.

За умови застосування легших тягових АКБ типу $LiFePO_4$ зменшення маси тягових АКБ можливе лише за рахунок значного зменшення їх енергоємності. Необхідна енергоємність тягових АКБ міських електробусів ВКл адекватної повної маси з габаритною довжиною біля 12,0 м у залежності від протяжності маршрутів визначається за виразом

$$W_{акб} = \frac{\Delta w_l}{k_p} \cdot \sum_{i=1}^{n_m} L_m, \quad (5)$$

де k_p - коефіцієнт допустимого розрядження тягових АКБ; для тягових АКБ типу $LiFePO_4$ $k_p = 0,85-0,9$; Δw_l - питома витрата енергоємності тягових АКБ, кВт·год./км; $\Delta w_l = 1,0-1,3$ кВт·год./км; L_m - протяжність маршруту в одному напрямку, км; n_m - кількість рейсів за маршрутом в одному напрямку, од.

Необхідна енергоємність тягових АКБ міських електробусів з різною повною масою визначається з її урахуванням

$$W_{акб} = \frac{\Delta w_m \cdot M_e}{k_p} \cdot \sum_{i=1}^{n_m} L_m, \quad (6)$$

де M_e - фактична маса електробуса з пасажирями, кг; Δw_m - питома витрата енергоємності тягових АКБ з урахуванням маси електробуса, кВт·год./кг·км; для міських електробусів $\Delta w_m = (0,07-0,08) \cdot 10^{-3}$ кВт·год./кг·км.

Зменшення енергоємності тягових АКБ міських електробусів можливе за двома напрямками:

- застосуванням системи змінних повністю заряджених основних блоків тягових АКБ та незмінного резервного блоку тягових АКБ, розміщених у кузові електробуса [6];

- застосуванням системи змінних повністю заряджених основних блоків тягових АКБ, розміщених на одно- або двовісному причепі, та незмінного резервного блоку тягових АКБ, встановлених у кузові електробуса [7].

Обидві системи передбачають на протязі добового пробігу однодворазову заміну розряджених основних блоків тягових АКБ на відповідно обладнаних зарядних станціях, розміщених у парках базування електробусів або біля кінцевих зупинок кількох маршрутів. Заряджання основних блоків тягових АКБ здійснюється, зазвичай, у нічний час із зменшеними тарифами на електроенергію, хоча, при потребі, може відбуватися і у денний період доби. Застосування зарядних станцій повільного заряджання змінних блоків тягових АКБ, яке може тривати 3-6 год. збільшує кількість циклів їх заряджання-розряджання до початку зменшення номінальної енергоємності та суттєво продовжує термін використання у порівнянні з електробусами типу ОС.

Міські електробуси з наведеними системами поповнення електроенергією тягових АКБ пропонується позначати абревіатурами ONC-V (V – variable - змінний) та ONC-T (T – trailed - причіпний).

Споряджена маса міських електробусів без основних блоків тягових АКБ на стадії ескізного проектування визначається за пропонуваним виразом

$$M_{cn}^k = \Delta m_{cn}^k \cdot L_k, \quad (7)$$

де Δm_{cn}^k - питома маса одного погонного метра кузова електробуса без маси основного блока тягових АКБ, кг/м; L_k - габаритна довжина кузова електробуса, м.

Для міських електробусів з класичною колісною формулою 4x2.2, обладнаних приводними мостами порталного або інтегрально-портального типів, з габаритною довжиною 12,0-12,2 м і кузовами, виготовленими зі сталевих (каркас кузова) та композиційних (зовнішнє облицювання і внутрішня оббивка) матеріалів $\Delta m_{cn}^k = 890-900$ кг/м.

Технічні параметри міських електробусів типів ONC-V і ONC-T (рис. 1), обладнаних тяговими АКБ типу LiFePO₄, розраховані на основі прийнятих вихідних параметрів ($\Delta m_{cn}^k = 900$ кг/м; $\rho_{w_{акб}} = 0,095$ кВт·год./кг; $k_p = 0,09$; $\Delta w_m = 0,075$ кВт·год./км·кг;) за виразами (3-7), наведені у табл. 2.

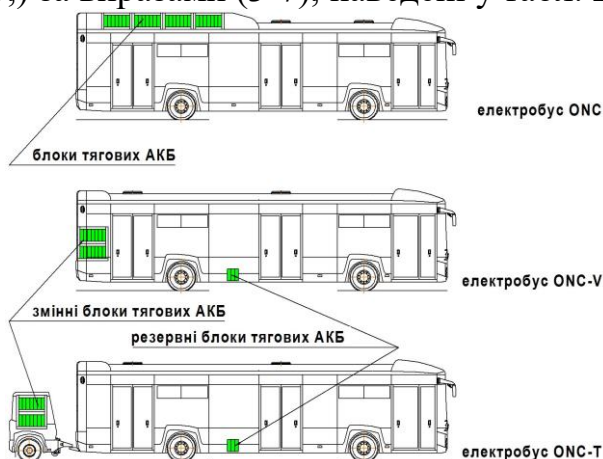


Рисунок 1 Розміщення тягових АКБ міських електробусів різних типів

Таблиця 2 Технічні параметри перспективних міських низькопідлогових електробусів великого класу типу ONC

Модель електробуса	Тип електробуса	Довжина, м	Повна маса, кг	Споряджена маса без АКБ, кг	Енергоємність АКБ, кВт·год.	Маса АКБ, кг	Споряджена маса, кг	Корисна маса, кг	Вмістимість, чол.	Пробіг, км
АПП-ЕхО12.01	ONC	12,0 ^{*1}	18000	10800	310	3260	14060	3940	58	200
АПП-ЕхО12.02			19000		327	3440	14240	4760	70	
АПП-ЕхV12.01	ONC-V		18000		160 ^{*3}	1685	12650	5515	81	100 ^{*4}
АПП-ЕхТ12.01	ONC-T		20000 ^{*2}		176 ^{*3}	105	10905	7095	104	

Примітка: ¹Габаритна довжина відноситься тільки до електробуса; ²З масою причепа з основним блоком тягових АКБ, рівною 2000 кг; ³З урахуванням резервного блоку (або запасу) тягових АКБ енергоємністю 10 кВт·год.; ⁴Пробіг на основних блоках тягових АКБ

Аналіз розрахункових параметрів проєктованих міських електробусів ВКл з габаритною довжиною 12,0 м показує, що завдяки меншій енергоємності тягових АКБ пасажировмістимість електробусів типів ONC-V і ONC-T значно більша при адекватних повних масах і навіть при повній масі електробусів типу ONC, рівній 19000 кг (рис. 2).

Пасажировмістимість, чол.

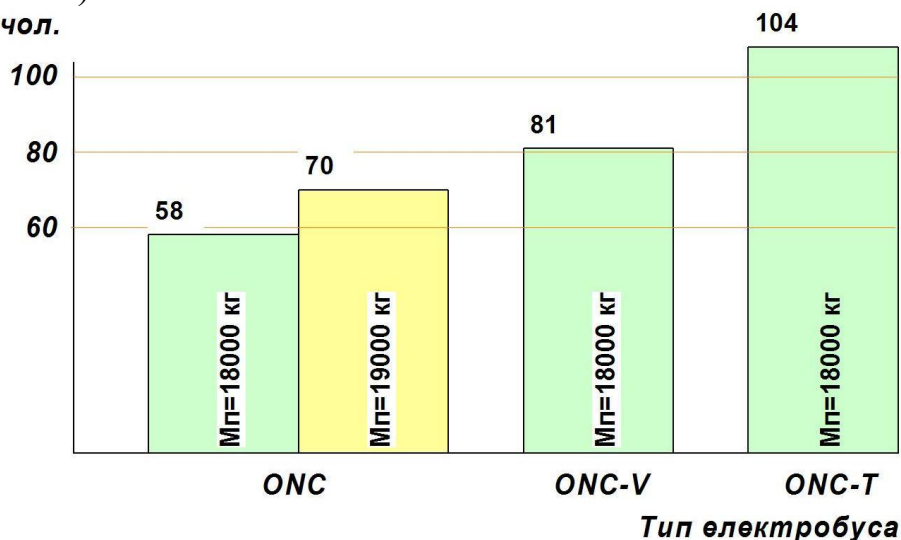


Рисунок 2 Пасажировмістимість міських електробусів ВКл різних типів

Проте, оцінка перспективності напрямків створення міських низькопідлогових електробусів ВКл типів ONC-V і ONC-T повинна базуватися на порівнянні технічного рівня та економічності експлуатації проєктованих електробусів та електробусів-аналогів.

Технічні параметри найбільш характерних сучасних міських електробусів типів ONC та ОС, обладнаних тяговими АКБ типу LiFePO₄ або тяговими СК, провідних європейських і китайських, а також українських, білоруських та російських виробників наведені у табл. 3. У цій же таблиці наведені технічні

параметри і першого дослідного зразка електробуса ВКл типу ОНС-Т моделі ПК ТС-6218 "Пионер", основні блоки тягових АКБ якого розміщені у двомостовому причепі [7].

Таблиця 3 Технічні параметри сучасних міських низькопідлогових електробусів великого класу

Модель електробуса	Тип електробуса	Довжина, м	Повна маса, кг	Споряджена маса без АКБ, кг	Енергоємність АКБ, кВт·год.	Маса АКБ, кг	Споряджена маса, кг	Корисна маса, кг	Вмістимість, чол.	Пробіг, км
Irizar i2e (Іспанія)	ОНС	12,16	19000	10735	350	3685	14420	4420	65	221
	ОС-В			10895	185	1950	12845	6155	90	117
BYD 12M LF (Китай)	ОНС	12,0	19000	10150	324	3410	13560	5440	80	205
				10155	291	3065	13220	5780	85	184
				10240	270	2840	13080	5920	87	171
Белкоммунмаш Е-321 (Білорусія)	ОС-С	12,09	18000	10920	34	1360	12280	5720	84	23
Електрон Е19	ОНС	12,1	19000	11140	230	2420	13560	5440	80	145
Богдан Е701	ОС-В	11,96	18000	10740	170	1780	12560		80	113
ЛиАЗ-6274	ОС	12,0		11540	129	1360	12900	5100	75	86
ПК ТС-6218 ^{*1} (Росія)	ОНС-Т	11,74	17780	10420	150	1580	12000	5780	85	91

Примітка: ¹Габаритна довжина відноситься до електробуса, вказана енергоємність відноситься основних блоків тягових АКБ

Оцінку технічного рівня перспективних міських електробусів ВКл на стадії розроблення ескізних пропозицій пропонується здійснювати за відносним коефіцієнтом корисних мас проєктованого електробуса та електробуса-аналога

$$k_{mp}^m = \frac{k_m^n}{k_m^a}, \quad (8)$$

де k_m^n і k_m^a - коефіцієнти корисних мас, відповідно, проєктованого (перспективного) електробуса та електробуса-аналога;

$$k_m^i = \frac{M_k^i}{M_{cn}^i}, \quad (9)$$

де M_k^i і M_{cn}^i - відповідно, корисна та споряджена маса i -го електробуса (проєктованого або аналога), кг.

Ефективність перевезень пасажирів перспективними міськими електробусами ВКл на стадії розроблення ескізних пропозицій пропонується оцінювати відносним коефіцієнтом витрат енергоефективності тягових АКБ

проектowanego електробуса та електробуса-аналога за умови однакового пробігу і однакової кількості перевезених пасажирів

$$k_{mp}^w = \frac{M_{cn}^a + n_{nac} \cdot m_{nac}}{M_{cn}^n + n_{nac} \cdot m_{nac}}, \quad (10)$$

де M_{cn}^n і M_{cn}^a - споряджені маси, відповідно, проекowanego (перспективного) електробуса та електробуса-аналога.

Сумарний коефіцієнт економічної ефективності проекowanych перспективних міських електробусів визначається за виразом

$$k_{ef} = 0,5 \cdot (k_{mp}^m + k_{mp}^w). \quad (11)$$

Оцінка економічної ефективності міських низькопідлогових електробусів ВКл пропонованих типів ONC-V та ONC-T з повними масами 18000 кг у порівнянні з електробусом-аналогом моделі BYD 12M LF типу ONC з повною масою 19000 кг при однакових добових пробігах 200 км наведена у табл. 4.

Таблиця 4 Оцінка технічного рівня перспективних міських низькопідлогових електробусів великого класу типу ONC

Модель електробуса	Тип електробуса	Повна маса, кг	Енергоємність ДДЕ, кВт·год.	Маса ДДЕ, кг	Споряджена маса, кг	Корисна маса, кг	Вмістимість, чол.	k_i^i	$k_{\delta\delta}^m$	$k_{\delta\delta}^w$	$k_{\dot{a}\dot{o}}$
BYD 12M LF	ONC	19000	324	3410	13560	5440	80	0,40	-	-	-
АПП-ЕхV12.01	ONC-V	18000	160	1685	12485	5515	81	0,44	1,09	1,06	1,07
АПП-ЕхТ12.01	ONC-T	20000	176	1850	12905	7095	104	0,55	1,38	1,04	1,16

Ефективність перевезень пасажирів пропонується оцінювати також і за відносними коефіцієнтами витрат енергоємності тягових АКБ на перевезення 1 пасажирів

$$k_{ef}^N = \frac{W_{акб}^a \cdot N_{nac}^n}{W_{акб}^n \cdot N_{nac}^a}, \quad (6)$$

де $W_{акб}^a$ і $W_{акб}^n$ - енергоємність, відповідно, тягових АКБ електробуса-аналога та проекowanego електробуса, кВт·год.; N_{nac}^n і N_{nac}^a - пасажировмістимість, відповідно, проекowanego електробуса та електробуса-аналога, чол. Для пропонованих міських електробусів типу ONC-V $k_{ef}^N=1,10$, а типу ONC-T $k_{ef}^N=1,37$.

Отже, при добових пробігах у 200 км електробуси типів ONC-V і ONC-T хоча й потребують одноразової заміни основних блоків тягових АКБ, але економічність їх експлуатації підвищується на 10-37 % навіть при повній масі 18000 кг.

Проте, зважаючи на великі невіднесорені маси привідних мостів порталного та інтегрально-портального типів, напрямок створення перспективних міських електробусів ВКл на основі застосування колісної

формули 4x2.2 на нинішній час уже являється неперспективним, особливо за умови збільшення їх повної маси до 19000-19500 кг.

Понад сорок років тому групою українських фахівців у галузі автобусобудування був запропонований, але надовго забутий, напрям створення міських максимально уніфікованих електробусів на основі застосування колісних формул 4x2.1, 6x4.1 та 8x4.1 з приводними мостами з незалежною підвіскою одинарних коліс [8]. На протязі останніх п'яти-семи років з появою таких мостів серійного виробництва фірми "Brist Axle Systems Srl" [9] автором було запропоновано і запатентовано кілька варіантів міських електробусів з такими колісними формулами [10-11] та навіть розроблено у НТЦ "Автополіпром" ряд ескізних проектів модульно-уніфікованих міських електробусів різних типорозмірів з колісною формулою 4x2.1. Проте, українськими автобусовиробниками вони не були сприйняті. Зате на протязі чотирьох останніх років кількома європейськими фірмами створені міські електробуси з колісною формулою 4x2.1 [12-14].

Застосування колісної формули 4x2.1 також забезпечує зменшення спорядженої маси міських електробусів ВКл за рахунок меншої маси приводних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс (табл. 5).

Таблиця 5 Технічні параметри приводних мостів міських електробусів

Найменування параметра	Модель ведучого моста			
	ZAwheel v1.0	AV 133	AVE 130	IDS TJ 105-225 HR
Фірма-виробник	Ziehl-Abegg	ZF		Brist Axle
Допустима навантага, кГс	13000			10500
Типорозмір шин	275/70R22.5			385/55 R22.5"
Маса (з підвіскою без коліс), кг	646*	973	1220*	650
Примітка: *Включно з масою тягових електричних двигунів				

Але основна перевага приводних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс полягає у їх меншій масі на 323 кг і 570 кг тільки за рахунок мостів без коліс та у значно меншій невіднесеної масі, навіть у порівнянні з електричним порталним мостом моделі "ZAwheel v1.0", що у кілька разів сповільнює процес руйнування покриття міських вулиць. Уже завдяки цим перевагам найбільш оптимальними являються напрямки створення перспективних двомостових міських низькопідлогових електробусів ВКл типів ONC-V і ONC-T на основі застосування колісної формули 4x2.1 та приводних мостів з незалежною підвіскою одинарних коліс. Детальний аналіз ефективності міських електробусів, спроектованих за цими напрямками, являється предметом розгляду у іншій роботі.

Висновки

1. За технічними параметрами та економічними показниками найбільш перспективними для вітчизняного електробусобудування являються напрямки створення конкурентоспроможних міських низькопідлогових електробусів ВКл типів ONC-V і ONC-T, які передбачають одно- або дворазову заміну основних

блоків тягових АКБ оптимізованої енергоємності, розміщених, відповідно, у їх кузовах або у одно-двомостових причепах на спеціальних зарядних станціях, розміщених біля кінцевих зупинок кількох маршрутів.

2. Економічна ефективність експлуатації електробусів ВКл пропонує типів ONC-V і ONC-T на міських маршрутах на 10-37 % вища у порівнянні з аналогічними електробусами типу ONC навіть з повною масою 19000 кг.

3. Перспективність створення і експлуатації міських електробусів ВКл типів ONC-V і ONC-T забезпечується також застосуванням меншої кількості зарядних станцій повільного заряджання змінних блоків тягових АКБ, яке за рахунок менших нічних тарифів на електроенергію збільшує кількість циклів їх заряджання-розряджання, у т.ч. без зменшення номінальної енергоємності, та продовжує термін їх використання у порівнянні з електробусами типу ОС.

4. Створення перспективних міських електробусів типів ONC-V і ONC-T повинно базуватися на колісних формулах 4x2.1 для двомостових та 6x4.1 і 8x4.1 для три- і чотиримостових електробусів.

5. Створення перспективних міських електробусів типів ONC-V і ONC-T з колісними формулами 6x4.1 і 8x4.1 являється для вітчизняного і світового електробусобудування також і єдиним, принаймні на найближчі десять років, соціально-перспективним напрямком, оскільки забезпечує значне зменшення капіталовкладень на утримання та ремонт міських вулиць, особливо з розвиненою підземною інфраструктурою.

Література

1. Войтків С.В., Войтків О.С. Нова система позначення автобусів і тролейбусів. Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів: Зб. наук. праць. - Львів, 2006. - Вип. 9. - С. 23-27.

2. Products for Buses and Coaches. URL: https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/buses/TU_Product_Overview_201811_DE_EN_LowRes.pdf (дата звернення 06.11.2018).

3. ZAWheel axle drive module. URL: https://www.ziehl-abegg.com/fileadmin/Downloadcenter_NEW/00_englisch%28EN%29_MASTER/X01_Brochures_Flyers/Flyer-ZAWheel.pdf (дата звернення 17.07.2018).

4. Электробус. Опыт эксплуатации в России. URL: http://www.mueta-ufa.ru/files/Razvitiye_tramvaynoy_seti/Фролов%20электробус%20динамический+.pdf (дата звернення 05.11.2019).

5. Электробус – технические особенности вариантов исполнения. URL: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/Electrotransservice.pdf (дата звернення 05.11.2019).

6. Войтків С.В. Шляхи покращення економічних показників перспективних міських електробусів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Електронне наукове спеціалізоване видання.- Х.ХНАДУ, 2017.- № 14. - С. 12-21.

7. "Пионер". Низкопольный электробус с использованием МАС. URL: <http://pk-ts.org/produksiya/pioner/> (дата звернення 05.11.2019).

8. Транспортное средство модульной конструкции. Авторское свидетельство СРСР № 931568, М. Кл. В 62 D 47/02, В 62 D 23/00 / В.К. Белик,

Б.В. Курач, Я.С. Трач // Заявл. 20.07.77, 2532945/27-11. Опубл. 30.05.82. - Бюлл. № 20. - 5 с.

9. Brist's Product Brochure. URL: <http://bristaxle.com/products/> (дата звернення 05.11 2018).

10. Пат. на корисну модель 113069. Україна, МПК В62D 47/00 (2016.01), В62D 47/02 (2006.01). Електробус міський середнього класу. / С.В. Войтків. - № u201607018; заявл. 29.06.2016; опубл. 10.01.2017; Бюл. № 1. - 4 с.

11. Пат. на корисну модель 114704. Україна, МПК В60К 17/00 (2017.01), В62D 47/02 (2006.01), В62D 61/10 (2006.01). Метробус тримостовий. / С.В. Войтків. – № u201610871; заявл. 28.10.2016; опубл. 10.03.2017; Бюл. № 5. - 4 с.

12. Aptis. A new mobility experience. URL: <https://www.eqmagpro.com/wp-content/uploads/2018/05/Aptis-product-sheet-March-17-v2.pdf> (дата звернення 05.11 2018).

13. Tam-vero-electric_v2.pdf. URL: https://www.tam-motors.eu/wp-content/uploads/2018/05/tam-vero-electric_v2.pdf (дата звернення 05.11 2018).

14. Аулін В.В., Гриньків А.В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів // Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів". – №5.– Харків: ХНТУСГ, 2016. – С. 109-116

15. Hrynkiv A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. Технологический аудит и резервы производства. - Харків : Технологічний центр, 2019. - № 3 (1). - С. 25-30.