

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЕРСПЕКТИВНИХ МІСЬКИХ ЕЛЕКТРОБУСІВ

Войтків С. В.¹

¹Науково-технічний центр «Автополіпром»

Анотація. Проаналізовані напрямки створення сучасних міських електробусів великого класу. Запропоновані шляхи створення конкурентоспроможних міських електробусів на основі застосування нових компоновальних схем їх електричних тягових приводів та компоновальних схем кузовів за розміщенням керованого і привідного мостів та пасажирських дверей. Наведений аналіз конкурентоспроможності запропонованих проектів перспективних міських електробусів.

Ключові слова: електробус, електричний привід, привідний міст, тяговий електродвигун, компоновальна схема.

Вступ

Бурхливий розвиток електробусобудування на протязі останнього десятиліття відбувається різними шляхами. Але низькопідлогові міські електробуси, які відносяться до класу І за [1] та великого класу за габаритною довжиною підкласів ВКл-1 та ВКл-2 [2] з габаритними довжинами, відповідно, понад 10,0 м до 11,0 м та понад 11,0 м до 12,0 м, створюються, здебільшого, за однією компоновальною схемою на основі класичної колісної формули 4x2.2. Цей варіант створення міських електробусів передбачає просту заміну механічних привідних мостів порталного типу базових автобусів на електромеханічні або електричні мости такого ж типу з аналогічними розмірними параметрами та допустимими навантагами. У конструкцію кузовів базових автобусів вносяться, в основному, лише зміни, пов'язані з розміщенням джерел електричної енергії (ДЕЕ) – акумуляторних батарей (АКБ) або іоністорів (суперконденсаторів) та комплектуючих виробів системи електричного тягового приводу (ЕТПр) на їх дахах.

Міські електробуси відносяться до класу автомобільних пасажирських транспортних засобів громадського користування (АПТЗ ГК). На даний час АПТЗ ГК з ЕТПр об'єднані у два класи – тролейбуси та електробуси [1]. Основними класифікаційними ознаками такого поділу АПТЗ ГК являються:

- тип тягового приводу – електричний;
- тип джерела електричної енергії (ДЕЕ) – до недавнього часу зовнішнє (дводорова електрична мережа) для тролейбусів та внутрішнє автономне – накопичувачі електричної енергії (НЕЕ) – для електробусів.

Проте, за останнє десятиліття у конструкції тролейбусів та електробусів були внесені суттєві зміни, які призвели, практично, до появи ідентичних типів АПТЗ ГК – тролей-бусів з автономним ходом та електробусів з динамічною підзарядкою НЕЕ від тролейбус-ної дводорової електричної мережі. Крім того, з'явилися електробуси, обладнані різними системами підзарядження НЕЕ на зупинках або під час руху за маршрутом або системами заміни розряджених НЕЕ, зазвичай, блоків тягових акумуляторних батарей (АКБ) на заряджені [3, 4].

Застосування у конструкціях електробусів ЕТПр на основі НЕЕ різних типів та систем їх зарядження/ підзарядження суттєво впливають як на ринкову вартість електробусів і їх економічні показники, так і на інфраструктуру конкретного маршруту, оскільки вимагають застосування потужних електричних станцій для зарядження/ підзарядження блоків тягових АКБ або суперконденсаторів. Тому розроблення напрямків покращення технічних параметрів перспективних електробусів являється дуже актуальним завданням вітчизняного автобусобудування.

Аналіз публікацій

Широко застосовуваний на нинішньому етапі розвитку електробусобудування шлях створення міських електробусів ВКл на базі кузовів міських низькопідлогових автобусів, обладнаних механічними ПрМ порталного типу хоча і являється найпростішим і, з точки зору виробників, економічнішим, має, принаймні, два суттєві недоліки:

- збільшується їх маса у спорядженому стані (на 1000-1500 кг);

- значно зменшується загальна пасажиромістимість (на 15-30 чол.).

Збільшення спорядженої маси електробусів за рахунок значної маси тягових АКБ або суперконденсаторів, яка за даними різних виробників сягає 2000-3000 кг, і зменшення, у зв'язку з цим, їх загальної пасажиромістимості негативно впливає на собівартість перевезень пасажирів. Тут йдеться про порівняння показників собівартості перевезень пасажирів електробусами. Застосування у конструкціях електробусів систем струмоприймачів різного типу, особливо штангових і прямих пантографів, розміщених на дахах їх кузовів ще більше погіршує економічні показники електробусів.

Для часткового зменшення наведених недоліків міських електробусів ВКл Директивою 96/53 ЄС [5] було збільшено допустиму навантагу на привідний міст електробусів, обладнаний двоєними колесами, до 13000 кг та дозволена максимальна масу двомостових електробусів до 19500 кг (для автобусів ці параметри складають, відповідно, 11500 кг та 18000 кг). Проте, збільшення допустимої навантаги на привідний міст електробусів на 13 % та їх повної допустимої маси на 8,3 % сприяє швидшому руйнуванню покриття міських вулиць. Тому, шлях створення електробусів на базі міських автобусів простою заміною привідних мостів далекий від оптимального. Його відносна доцільність полягає лише у можливості виготовлення електробусів на тому ж технологічному обладнанні при мінімальних затратах на підготовку їх виробництва. Але при цьому зовсім не приймається до уваги їх суттєво більша руйнівна дія на покриття міських вулиць та навколишню інфраструктуру за рахунок не тільки збільшеної навантаги на привідний міст а ще й завдяки дії великих невіднесених мас. А це дуже вагомий фактор з точки зору щорічних капіталовкладень на його ремонт і підтримання працездатного стану. Недарма китайські виробники уже кілька років виготовляють міські електробуси на основі застосування багатомостових компоновальних схем з колісними формулами 6x4.1 (рис. 1) [6] та 8x4.1 (рис. 2) [7].



Рис. 1. Електробус тримостовий моделі ZEV CDL6100UWBEV

Аналіз основних технічних параметрів цих три- і чотиримостових електробусів, наведених у табл. 1, показує, що їх конструкції характеризуються малими спорядженими масами, а повні маси сягають лише 72,0 % і 83,1 % від допустимої повної маси електробусів з двома мостами.



Рис. 2. Електробус чотиримостовий моделі ZEV Z12HA з НEE на водневих паливних елементах

Таблиця 1 – Технічні параметри багатомостових електробусів китайської фірми "Zhongzhi newenergy vehicle, Ltd"

Найменування параметра	Модель електробуса	
	CDL6100UWBEV	CDL6120UWBEV
Колісна формула	6x4.1	
Габаритна довжина, м	10,25	12,01
Повна маса, кг	14100	16200
Допустима навантага на мости, кН (кГс)		
- передній перший	51,0 (5200)	53,0 (5400)
- передній другий	-	-
- задній перший	44,4 (4530)	53,0 (5400)
- задній другий	42,7 (4350)	53,0 (5400)
Вмістимість, чол.		
- повна	82	95
- місць для сидіння	9-17	9-32

Таким чином, допустимі навантаги на мости багатомостових електробусів, обладнаних одинарними колесами із шинами типорозміру 265/70R19.5, не перевищують усього 5000 кГс.

Варто також зауважити, що загальна пасажиромістимість наведених вище електробусів при меншій повній масі суттєво вища. Наприклад, вмістимість електробуса моделі ZEV CDL6120UWBEV з габаритною довжиною 12,01 м сягає 95 чол. при повній масі 16200 кг у той час, коли електробуси моделі "Volvo 7900 E" (Швеція) аналогічну вмістимість забезпечують при повній масі 19000 кг. Зрозуміло, що експлуатаційні характеристики розглянутих китайських електробусів значно кращі і з точки зору збереження покриття міських вулиць і з точки зору мінімізації собівартості перевезень пасажирів. Шкода лише що

відсутня будь-яка інформація щодо собівартості їх дрібносерійного виробництва та витрат на будівництво інфраструктури маршрутів.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення шляхів створення перспективних конкурентоспроможних міських повністю низькопідлогових електробусів із вищими економічними показниками.

Задачами вирішення поставленої мети являються розроблення і застосування нових конструювальних схем електробусів за колісною формулою, розміщенням не менше двох подвійних службових (пасажирських) дверей та інших конструювальних схем ЕТПр, зменшення собівартості виготовлення електробусів та зменшення експлуатаційних витрат на їх технічне обслуговування та перевезення пасажирів

Шляхи створення

перспективних міських електробусів

Конструктивна ефективність перспективних міських низькопідлогових автобусів в загальному випадку можна оцінювати за узагальненим коефіцієнтом:

$$E_k = k_1 \times \left(\frac{M_{cn}}{N_{zag}} \right)^{-1} + k_2 \times \left(\frac{C_{el} + C_{inf}}{N_{zag}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де M_{cn} – споряджена маса електробуса, кг;

N_{zag} – загальна (номінальна) пасажиромісткість електробуса, чол.;

C_{el} – собівартість виробництва електробуса, млн. грн.;

C_{inf} – собівартість інфраструктури для заряджання/ підзаряджання НЕЕ на маршруті, млн. грн.;

k_1 і k_2 – розмірні коефіцієнти, відповідно, чол./кг та чол./грн.

З наведеного виразу покращення економічних показників перспективних електробусів при заданій загальній пасажиромісткості, тобто при $N_{zag} = \text{const}$, можливе за рахунок:

- зменшення спорядженої маси електробуса;

- зменшення собівартості виробництва електробуса;

- зменшення витрат на будівництво інфраструктури для заряджання/ підзаряджання НЕЕ на маршруті.

Маса спорядженого електробуса може бути виражена наступним чином:

$$M_{cn} = m_k \times L_k + M_{ETPr} + M_i, \quad (2)$$

де m_k – питома маса одного погонного метра кузова електробуса без агрегатів ЕТПр і ходової частини, кг;

L_k – довжина кузова електробуса, м;

M_{ETPr} – маса ЕТПр електробуса, кг;

M_i – маса інших складових частин електробуса, кг.

При заданій величині m_k маса кузова електробуса без агрегатів ЕТПр і ходової частини може бути зменшена лише за рахунок оптимізації його довжини при забезпеченні $N_{zag} = \text{const}$. Для кузовів автобусів без агрегатів трансмісії і ходової частини відповідно до [8] $m_k = 250\text{-}350$ кг/м. Отже, зменшення довжини кузова електробуса на 1 м при тій же пасажиромісткості сприяє зменшенню спорядженої маси, щонайменше, на 250 кг.

Ще більшого зменшення спорядженої маси електробуса можна досягнути за рахунок оптимізації мас складових частин ЕТПр:

$$M_{ETPr} = M_{PrM} + M_{TED} + M_{HEE} + M_i, \quad (3)$$

де M_{PrM} – маса привідного моста, кг;

M_{TED} – маса тягового електричного двигуна/ двигунів (ТЕД), кг;

M_{HEE} – маса блоків накопичувачів електричної енергії, кг;

M_i – маса інших складових частин ЕТПр, кг.

У конструкціях сучасних електробусів ВКл з повністю низьким рівнем підлоги у пасажирських салонах застосовуються механічні, електромеханічні або електричні привідні мости порталного типу (табл. 2). Вони характерні однаковими приєднувальними розмірами і однаковою допустимою навантагою, але мають різну масу завдяки різним конструкціям. ПрМ моделі "ZF AVE 130" обладнаний інтегрованими у ступиці коліс двома ТЕД з двома планетарними редукторами. А ПрМ моделі "ZAwheel v1.0" являється чисто електричним, оскільки обладнаний інтегрованими у ступиці коліс лише двома ТЕД з великим крутним моментом. Обидва мости являються, по суті, інтегрально-портальними.

Таблиця 2 – Параметри мас порталних мостів електробусів

Найменування параметра	Модель електробуса		
	ZF AV 133	ZF AVE 130	ZAwheel v1.0
Тип моста	механічний	електромеханічний	електричний
Допустима навантага на міст, кН (кГс)	127,5 (13000)		
Тип коліс	здвоєні		
Типорозмір коліс	22.5"х8,25"		
Типорозмір шин	275/70R22.5		
Маса моста без коліс з підвіскою, кг	973	1220	646

ЕТПр з ПрМ моделі "ZF AV 133" потребує застосування ТЕД. Його маса разом з ТЕД адекватної потужності канадської фірми ТМ4 "Sumo LSM280АНV-3400" (337 кг) складає 1310 кг. На даний час практично на усіх електробусах ВКл застосовуються мости моделі "ZF AVE 130" або аналогічні електромеханічні ПрМ китайського виробництва. Електричні ПрМ моделі "ZAwheel v1.0" хоча і значно легші (на 574 кг), але набагато дорожчі і наразі випробовуються на дослідних зразках електробусів.

Одним із шляхів зменшення спорядженої маси електробуса являється застосування ПрМ з незалежною підвіскою коліс або типу "Де-Діон". ПрМ з незалежною підвіскою одинарних коліс, обладнаних шинами типорозміру 385/55 R22.5", уже серійно виготовляє італійсько-турецька компанія "Brist Axle Systems Srl.". Міст моделі IDS TJ 105-225 НR має масу 650 кг без одинарних коліс, яка на 570 кг менша маси ПрМ "ZF AVE 130".

Ряд конструкцій ПрМ типу "Де-Діон" розроблений у НТЦ "Автополіпром". Одним із перспективних напрямків являється застосування ПрМ (рис. 3), обладнаного двома ТЕД і одним здвоєним циліндричним проміжним редуктором (ЗЦПР), який заміняє головну передачу з диференціалом [9].

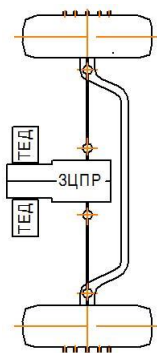


Рис. 3. ЕТПр з ПрМ типу "Де-Діон" з двома ТЕД та ЗЦПР

Такий міст значно технологічніший і простіший для освоєння виробництва. А застосування двох ТЕД замість одного являється ще одним шляхом зменшення спорядженої маси перспективних електробусів. У табл. 3 наведені параметри ТЕД різних виробників у варіантах однакової сумарної потужності.

Таблиця 3 – Параметри мас ТЕД електробусів

Найменування параметра	Модель ТЕД		
	ТМ4 "Sumo LSM280АНV-3400"	Brusa HSM1-6.17.12	YASA 750
Потужність пікова/номінальна, кВт			
- одного ТЕД	250/ 170	120/ 70	200/ 75
- двох ТЕД	-	240/ 140	400/ 150
Маса ТЕД, кг			
- одного ТЕД	336,0	51,5	33,0
- двох ТЕД	-	103,0	66,0

Аналіз мас ТЕД, наведених у табл. 3, показує, що за рахунок застосування двох ТЕД при однаковій сумарній потужності з потужністю одного ТЕД можна досягнути зменшення спорядженої маси електробуса, щонайменше, на 230 кг. Ще більше зменшення маси забезпечує ТЕД моделі "YASA 750", особливо із врахуванням того, що він має майже у 3 рази більший крутний момент ніж ТЕД моделі "Brusa HSM1-6.17.12" (800/400 Нм проти 320/130 Нм, відповідно, піковий/ номінальний). Але ці ТЕД наразі теж дуже дорогі, що стримує їх широке застосування).

Іншим важливим шляхом покращення економічних показників перспективних електробусів являється зменшення маси НEE. На даний час виробники електробусів оперують таким показником, як величина пробігу на одній зарядці НEE. З виразу

$$L_{np} = \frac{W_{HEE}}{\Delta w}, \quad (4)$$

де W_{HEE} – потужність НEE при повній зарядці, кВт;

Δw – середня питома витрата потужності НEE на здоляння електробусом 1 км шляху, кВт/км.

Зрозуміло, що величина пробігу електробуса при $\Delta w = \text{const.}$ зростає лише при збільшенні потужності НEE. Якщо збільшення потужності НEE відбувається за рахунок збільшення кількості однотипних елементів (АКБ чи суперконденсаторів), то це призводить до

збільшення спорядженої маси електробуса і автоматичного погіршення економічних експлуатаційних показників, оскільки зменшується його загальна пасажиромісткість. Отже, покращення економічних показників перспективних електробусів можливе лише за умови зменшення маси НEE:

– за рахунок зменшення потужності НEE і застосування систем їх підзарядки або заміни на заряджені під час перебування на маршруті;

– за рахунок застосування НEE тієї ж потужності з меншою питомою масою.

У виразі (1) перший доданок характеризує конструктивну ефективність електробуса з точки зору його спорядженої маси. На рис. 4 наведена залежність $E_{кМ}$ від спорядженої маси електробуса ВКл при $N_{заг} = 90$ чол., побудована за виразом:

$$E_{кМ} = k_1 \times \left(\frac{M_{сн}}{N_{заг}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

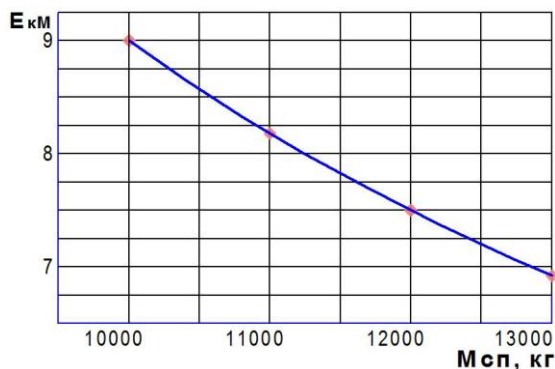


Рис. 4. Залежність коефіцієнта конструктивної ефективності електробусів від спорядженої маси

Отже, зменшення спорядженої маси електробуса на кожних 1000 кг підвищує $E_{кМ}$ на 10 %.

Другий доданок у виразі (1) складається із двох коефіцієнтів ефективності перспективних електробусів, які характеризують собівартість їх виробництва та величину витрат на розбудову систем заряджання/підзаряджання НEE:

$$E_{кС} = k_2 \times \frac{C_{ен}}{N_{заг}} + k_2 \times \frac{C_{інф}}{N_{заг}}. \quad (6)$$

Найбільший вплив на $E_{кС}$ має тип системи

заряджання/підзаряджання НEE, яка, звісно, залежить і від типу самого НEE. На даний час застосовуються три типи систем заряджання/підзаряджання НEE:

- у автотранспортних парках, здебільшого, у нічний період доби;

- на кінцевих зупинках маршруту;

- на проміжних зупинках маршруту.

Перші дві системи застосовуються у сукупності з НEE на основі тягових АКБ, третя – для заряджання/підзаряджання НEE на основі суперконденсаторів. За результатами досліджень, наприклад [10], встановлено, що пробіг електробусів однакової пасажиромісткості для наведених систем заряджання/підзаряджання НEE складає, табл. 4.

Таблиця 4 – Середній пробіг електробусів у залежності від типу НEE і систем їх заряджання/підзаряджання

Тип системи заряджання/ підзаряджання НEE	Пробіг без підзарядки, км
В АТП у нічний період доби	200
На кінцевих зупинках маршруту	25
На проміжних зупинках маршруту	5

З наведених даних зрозуміло, що при довжині маршруту в одну сторону рівній, для прикладу, 15 км, електробус типу ОНС (система повільного заряджання тягових АКБ в АТП у нічний час [11]) зможе виконати шість рейсів по маршруту в обидві сторони без підзаряджання НEE від зарядної станції, яка необхідна лише одна з розміщенням в АТП. Електробуси типу ОС (системи ультрашвидкого заряджання НEE на зупинках) у залежності від типу НEE для виконання тих же шести рейсів по маршруту в обидві сторони (180 км) потребуватимуть 10-13 підзарядок з НEE на основі тягових АКБ і 36-40 зарядок з НEE на основі суперконденсаторів. Для забезпечення руху електробусів типу ОС, обладнаних тяговими АКБ, на маршруті довжиною 15 км необхідна наявність двох зарядних станцій, розміщених на кінцевих маршрутах. Для електробусів того ж типу, але з НEE на основі суперконденсаторів, необхідно, щонайменше, чотири зарядні станції. А у випадку маршруту з довжиною 25 км в один бік таких станцій необхідно буде уже, щонайменше, шість.

Створення конструкцій перспективних конкурентоспроможних міських низькопідлогових автобусів потребує застосування інших компоновальних схем як ЕТПр так і електро-

бусів в цілому. Аналіз класичної колісної формули сучасних автобусів та електробусів ВКл – 4х2.2, яка передбачає розподіл допустимих навантаж на передній керований і задній привідний мости у співвідношенні 1:(1,77...2,25), показує, що застосування електромеханічних чи електричних привідних мостів порталного типу не забезпечує можливості створення електробусів за принципово іншими компоновальними схемами за розміщенням мостів та за розміщенням пасажирських дверей. Але компактність ЕТПр якраз навпаки сприяє проектуванню електробусів за іншими варіантами розміщення і обох мостів і пасажирських дверей.

Звісно, шляхи створення перспективних конкурентоспроможних низькопідлогових електробусів повинні бути направлені, перш за все, на зменшення їх маси у спорядженому стані та збільшення загальної пасажировмістимості. Досягнення цих завдань можливе різними шляхами.

Зменшення маси електробусів у спорядженому стані пропонується за рахунок:

- зменшення довжини їх кузовів при збереженні заданої або тієї ж загальної пасажировмістимості;

- застосування замінних блоків тягових АКБ суттєво меншої ємності і, відповідно, значно меншої маси.

Збільшення загальної пасажировмістимості електробусів, у свою чергу, можливе за рахунок тих же напрямків:

- зменшення маси електробусів у спорядженому стані шляхом зменшення довжини їх

кузовів і оптимізації планувань пасажирських салонів;

- застосування замінних блоків тягових АКБ зменшеної ємності і, відповідно, зменшеної маси.

Для вирішення поставлених задач і проектування перспективних міських низькопідлогових електробусів за основу прийнята концепція, яка передбачає:

- застосування колісної формули 4х2.1, тобто ПрМ, обладнаного одинарними колесами;

- мінімізацію довжини заднього звису кузова електробуса та, відповідно, збільшення колісної бази;

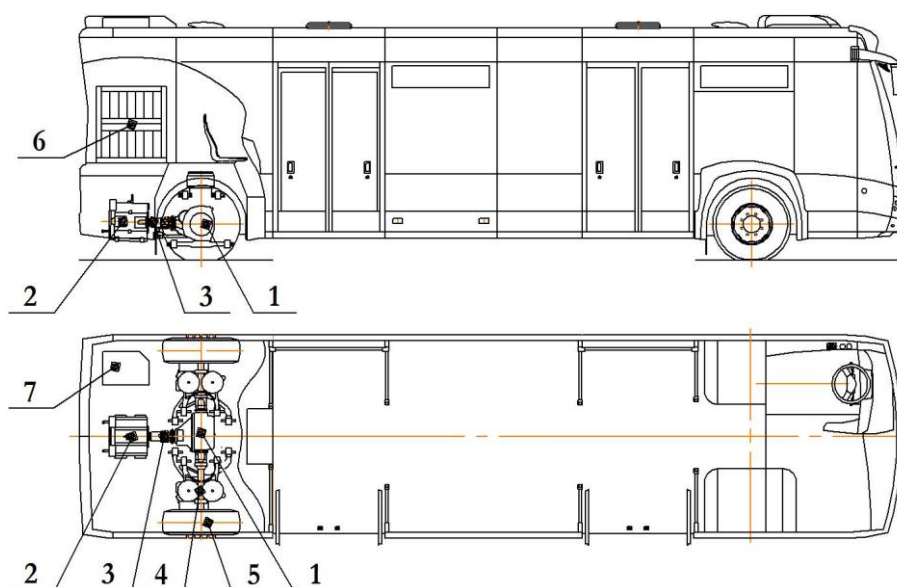
- застосування привідного моста з незалежною підвіскою одинарних коліс типорозміру R22,5";

- значне зменшення маси НЕЕ – тягових акумуляторних батарей;

- мінімізацію довжини кузова електробуса при заданій пасажировмістимості, аналогічній пасажировмістимості існуючих електробусів з габаритною довжиною 12,0 м;

- забезпечення перебування електробусів на маршруті протягом зміни шляхом дво- або триразової заміни блоків АКБ на кінцевій зупинці або відповідній станції.

Проект міського низькопідлогового електробуса ВКл [4], у якому реалізовані наведені вище напрямки зменшення його маси у спорядженому стані та збільшення пасажировмістимості, наведений на рис. 5.



1 – Редуктор головної передачі; 2 – ТЕД; 3 – карданний шарнір; 4 – привідний міст з незалежною підвіскою коліс; 5 – одинарне привідне колесо; 6 – замінний блок тягових АБ; 7 – система керування приводом

Рис. 5. Компонувальна схема перспективного міського електробуса

Конструкція електробуса передбачає застосування повністю відокремленого від пасажирського салону відділення водія, двох подвійних пасажирських дверей, розміщених у межах колісної бази, одного або й двох накопичувальних майданчиків та можливість виготовлення з різними варіантами планувань пасажирських салонів. Аналіз конкурентоспроможності перспективного міського електробуса за коефіцієнтами конструктивної

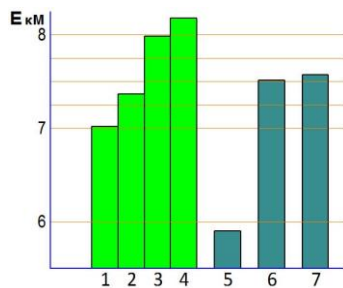
ефективності за спорядженою масою і за площею проекції їх кузовів (7) наведений у табл. 5 і на рис. 6 та рис. 7:

$$E_{кS} = k_s \times \left(\frac{S_k}{N_{заг}} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де S_k – площа проекції кузова електробуса, м².

Таблиця 5 – Аналіз конкурентоспроможності перспективного міського електробуса

Найменування параметра	Модель міського електробуса			
	АПП-Ех01	Е19	Екова	7900 Е
Фірма-виробник	Проект НТЦ "АПП" (Україна)	Електрон-транс (Україна)	Екова Electric (Чехія)	Volvo (Швеція)
Габаритні розміри, мм:				
- довжина	10300	12000	11980	12000
- ширина		2550		
Колісна база, м	6840	5900	5940	6000
Споряджена маса, $M_{сн}$, кг	11400	13560	11880	12540
Повна маса, кг	16840-18000	19000	18000	19000
Площа проекції кузова, S_k , м ²	26,265	30,600	30,549	30,600
Пасажировмістимість, чол.:				
- повна	80/ 84/ 91/ 97	80	90	95
- місць для сидіння	21/ 18/ 14/ 11	36	30/ 28	32
- стоячих пасажирів	59/ 68/ 77/ 86	44	60/ 62	63
Формула пасажирських дверей	0 -2+2- 0	1-2-2	2-2-2	2-2-0
Коефіцієнт колісної бази	0,664	0,492	0,496	0,500
Аналіз конструктивної ефективності:				
- по відношенню до спорядженої маси, $E_{кМ}$	7,018/ 7,368 7,982/ 8,509	5,90	7,512	7,570
- по відношенню до площі кузова, $E_{кS}$	3,046/ 3,198 3,465/ 3,693	2,614	2,945	3,104

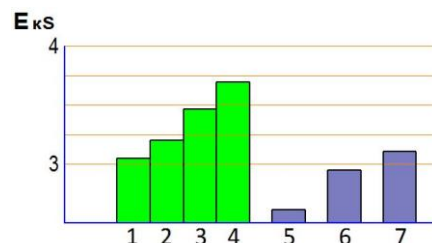


1-4 – електробуси проекту АПП-Ех01 вмістимістю 80/ 84/ 91/ 97 чол.; 5 – електробус моделі Е19; 6 – електробус моделі "Екова"; 7 – електробус моделі "Volvo 7900 Е"

Рис. 6. Коефіцієнт ефективності електробусів за спорядженою масою

Як видно із аналізу коефіцієнтів конструктивної ефективності за спорядженою масою найкращі показники належать електробусам проекту АПП-Ех01 при загальній вмістимості 91 і 97 чол. і сумарній потужності НEE рівній

електробусу моделі "Екова", відносно якого визначена споряджена маса електробусів модельного ряду АПП-Ех01. Дуже низький коефіцієнт $E_{кМ}$ електробуса моделі Е19 СП "Електронтранс" отриманий за рахунок великої маси НEE (біля 3000 кг).



1-4 – електробуси проекту АПП-Ех01 вмістимістю 80/ 84/ 91/ 97 чол.; 5 – електробус моделі Е19; 6 – електробус моделі "Екова"; 7 – електробус моделі "Volvo 7900 Е"

Рис. 7. Коефіцієнт ефективності електробусів за площею проекції кузова

За коефіцієнтом конструктивної ефективності електробусів за площею горизонтальної проекції їх кузовів беззаперечно перевагу мають електробуси проекту АПП-Ех01. Лише при вмістимості 80 чол. цей показник дещо гірший за $E_{кС}$ електробуса моделі "Volvo 7900 E".

Висновки

1. Запропоновані шляхи створення перспективних міських конкурентоспроможних електробусів забезпечують значне покращення їх експлуатаційних характеристик. Пасажиrowмістимість електробуса проекту АПП-Ех01 співставима з пасажирowмістимістю електробусів з габаритною довжиною 12,0 м при коротшому кузові на 1,7 м. Маса цієї частини кузова у межах, щонайменше, 425-595 кг відповідно до [5] може бути використана для збільшення потужності замінного блоку АКБ. Потужність блоку тягових АКБ у електробуса запропонованого проекту може бути збільшена також і на різницю мас електромеханічного привідного моста фірми "ZF Friedrichshafen AG" моделі AVE 130 (1220 кг без здвоєних коліс 275/70 R22.5") та моделі IDS TJ 105-225 HR фірми "Brist Axle Systems Srl." (650 кг без одинарних коліс 385/55 R22.5"), яка складає 570 кг.

2. При однаковій повній масі електробусів у 18000 кг маса тягових АКБ у електробуса запропонованого проекту може бути на 995-1165 кг (на 5,5-6,5 %) більшою, або ж навпаки, при однаковій пасажирowмістимості у 95 чол. повна маса електробуса проекту АПП-Ех01 може бути меншою на ті ж величини і складати 17005-16835 кг при однаковій потужності тягових АКБ. Зрозуміло, що економічність експлуатації запропонованого перспективного електробуса у кожному із розглянутих варіантів буде суттєво кращою.

3. Перспективними шляхами створення конструкцій електробусів з кращими економічними показниками являються:

- зменшення спорядженої маси електробусів (і, відповідно, повної маси) за рахунок оптимізації довжини їх кузовів при заданій загальній пасажирowмістимості;

- зменшення спорядженої маси електробусів за рахунок застосування ПрМ з незалежною підвіскою коліс або ПрМ типу "Де-Діон" з одинарними колесами і двох ТЕД.

4. Що стосується типу НЕЕ і систем їх заряджання/ підзаряджання то з умов досяг-

нення високих показників коефіцієнтів конструктивної ефективності за собівартістю виробництва електробусів та за витратами на створення інфраструктури зарядних станцій майбутнє належить електробусам із замінними блоками тягових АКБ, які можуть бути розміщені:

- у задній частині кузовів електробусів;
- у одномостовому або двомостовому причепах.

5. Альтернативним шляхом створення перспективних електробусів являється хіба що застосування системи заряджання/ підзаряджання тягових АКБ на кінцевих зупинках. Проте, він вимагає будівництва зарядних станцій великої потужності на кожній кінцевій зупинці кожного маршруту, дотримання чіткого узгодженого графіку руху електробусів тощо. Заміна блоків тягових АКБ у залежності від протяжності маршрутів має відбуватися два-три рази на одній спеціально облаштованій кінцевій зупинці кількох різних маршрутів. Заряджання розряджених блоків тягових АКБ може здійснюватися лише у нічний час за льготним тарифом.

6. Використання дводрової контактної тролейбусної мережі для підзаряджання НЕЕ електробусів видається малоперспективним напрямком, оскільки потребує узгодження їх маршрутів з маршрутами тролейбусів і постійного під'єднання - від'єднання від цієї мережі. Цей шлях може застосовуватися лише для створення тролейбусних маршрутів на основі існуючої дводрової контактної електричної мережі з відносно невеликими ділянками маршрутів без такої мережі.

7. Розвиток електробусів, обладнаних замінними блоками тягових АКБ, являється перспективним і для приміських і, особливо, для міжміських перевезень пасажирів. Єдиною відмінністю системи таких перевезень пасажирів буде застосування мережі зарядних станцій для заміни і наступного заряджання блоків тягових АКБ, аналогічних станціям заправки автобусів рідинним або газовим паливом.

Література

1. ДСТУ UN/ECE R 107-01:2008. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій М2 та М3 стосовно їхньої загальної конструкції (Правила ЄЕК ООН 107-01:2004, ІДТ). Київ, 2009. 202 с.
2. 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.
3. Електромобіли за рубежом. *Автомобильная промышленность*. М.: Машиностроение, 1979, № 5. С. 31-33.
 4. Заявка у 2018 09606 Україна, МПК (2018.01) B62D 47/02. Електробус із замінним блоком акумуляторних батарей / С.В. Войтків (Україна); заявник та патентовласник Войтків С.В. № у 2018 09606; заяв. 24.09.2018 р.
 5. Council directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0053:20020309:EN:PDF> (дата звернення 10.12.2018).
 6. ZEV CDL6100UWBEV Electric city bus. URL: <http://auto-che.com/v/cdl/cdl6100uwbev-288-zev.html> (дата звернення 07.12.2018).
 7. Заправляйте автобуси водородом! URL: <https://st-kt.ru/news/zaprvlyajte-elektrobussy-vodorodom> (дата звернення 07.12.2018).
 8. Войтків С.В. Розрахунок параметрів мас автобусів на стадії ескізного проектування. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доп. III-ї всеукраїнської наук.-практ. конф. (Львів, 22-23 лютого 2018)*. Львів, 2018. С. 49-51.
 9. Пат. КМ 115426 України. Тяговий привід електробуса. Опубл. 10.04.2017.
 10. Хрипач Н.А. и др. Анализ эффективности энергопотребления безрельсового транспорта на базе тягового электропривода. *Современные проблемы науки и образования*. 2014, № 6.
 11. Корольков С. Электробус – технические особенности вариантов исполнения. URL: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobuss/HTC_08.09.2017/Electrotransservice.pdf. (дата звернення 05.12.2018).
 4. Заявка у 2018 09606 Україна. Електробус із замінним блоком акумуляторних батарей [Electric battery with replaceable battery pack]. 24.09.2018 [in Ukrainian].
 5. Council directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0053:20020309:EN:PDF> (accessed 10.12.2018).
 6. ZEV CDL6100UWBEV Electric city bus. Retrieved from: <http://auto-che.com/v/cdl/cdl6100uwbev-288-zev.html> (accessed 07.12.2018).
 7. Заправляйте автобуси водородом! [Zaprvlyajte avtobussy vodorodom!] Retrieved from: <https://st-kt.ru/news/zaprvlyajte-elektrobussy-vodorodom> (accessed 07.12.2018).
 8. Vojtkiv S.V. Rozrachunok parametriv mas avtobusiv na stadiyi eskiznogo proektuvannya. Avtobusobuduvannya ta pasazhyr'ski perevezennya v Ukraini [Calculation of mass bus parameters at the stage of sketch design]: *tezy` dop. III-yi vseukrayins`koyi nauk.-prakt. konf. (Lviv, 22-23 February* [in Ukrainian].
 9. Pat. 115426 Ukrainy`. Tyagovy`j pry`vid elektrobusa. [Trailer drive of an electric bus]. Opubl. 10.04.2017. [in Ukrainian].
 10. Хры`пач Н.А. у` др. Analy`z efekty`vnosty` energopotrebleny`ya bezrel`sovogo transporta na baze tyagovogo elektropy`voda [Analysis of the energy efficiency of road transport on the basis of a traction electric drive]. *Sovremennyye problemy nauky` y` obrazovany`ya*. 2014, № 6 [in Russian].
 11. Korol'kov S. Ëlektrobuss – tehničeskie osobennosti variantov ispolneniâ. [Electrobus – technical features of performance variants] Retrieved from: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/projects/electrobuss/HTC_08.09.2017/Electrotransservice.pdf. (accessed 05.12.2018).

References

1. DSTU UN/ECE R 107-01:2008. Yedy`ni technichni pry`py`sy` shhodo oficijnogo zatverdzhennya transportny`x zasobiv kategorij M2 ta M3 stosovno yixn`oyi zagal`noyi konstrukciyi [Uniform technical prescriptions concerning the approval of vehicles of categories M2 and M3 with regard to their general design.] (Pravy`la YeEK OON 107-01:2004, IDT). Ky`yiv [in Ukrainian].
2. Vojtkiv S.V., Vojtkiv O.S. Nova sy`stema poznachennya avtobusiv i trolejbusiv [A new system for designating buses and trolleybuses]. *Proektuvannya, vy`robny`ctvo ta ekspluataciya avto-transportny`x zasobiv i poyizdiv: Zb. nauk. pracz`.* (L`viv, 2006. Vy`p. 9) [in Ukrainian].
3. Электромобиль за рубежом [Electric cars abroad]. *Avtomobyl`naya promyshlennost`*. Moskva, 1979, № 5. С. 31-33. [in Russian].

Войтків Станіслав Володимирович¹, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, vojtkivsv@ukr.net,
¹Науково-технічний центр "Автополіпром", 79022, Україна, м Львів, вул. Городоцька, 174.

Ways of improving economic indicators of high-potential city electric buses

Abstract. Problem. The rapid development of electrobus building during the last decade has been in progress in a number of ways. However, low-floor city electric buses that fall under Class I of UNECE Regulation No. 107 and a large class on the overall length of the subclasses BK1-1 and BK1-2, more than 10.0 m to 11.0 m and more than 11, 0 m to 12.0 m, are created, for the most part, according to one layout based

on the classical wheel formula 4x2.2. This option for building the city electric buses involves the simple replacement of motorized drive axle of the portal type of base buses to electromechanical or electrical axle of the same type with similar dimensional parameters and allowable loads. In the design of the bus bodies of basic busses only the changes connected with the placement of electric power sources - accumulator batteries or ionizers (super-capacitors) and component parts of the electric traction drive system on their roofs are introduced. **Goal.** The improving economic indicators of high-potential city electric buses. **Methodology.** It is shown that high-potential ways of constructing electric buses with the best economic indicators are: - Reduction of the unladen weight of electric buses (and, accordingly, of the total weight) through the optimization of the length of their bus bodies with a given total passenger space;- Reduction of the unladen weight of electric buses through the use of drive axle with independent wheel suspension or "De-Dion" type with single wheels and two traction electric engines. The described ways of creating high-potential urban competitive electric buses provide a significant improvement in their performance characteristics. **Results.** The competitiveness analysis of proposed projects of high-potential city electric buses is provided. **Practical value.** It is concluded that upon conditions of achieving the high indicators of constructive efficiency at the cost of production of electric buses and on providing the finding for the creation of the infrastructure of charging stations, the future belongs to the electric buses with replacement of traction battery packs, which can be located in the rear part of the bus bodies of electric buses or in one- axle or two-axle trailer.

Key words: electric bus, electric motor drive, drive axle, traction electric engine, layout diagram

Voytkiv Stanislav¹, Cand. of Science, General Designer, The Deserved Machine Engineer Engineer of Ukraine, tel. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, e-mail: voytkivsv@ukr.net

¹Scientific and Technical Center "Avtopoliprom", 79022, Ukraine, Lviv, Gorodotskaya str., 174.

Пути улучшения экономических показателей перспективных городских электробусов

Аннотация. Проанализированы пути создания современных городских электробусов, отмечены их недостатки. Предложены пути создания конкурентоспособных городских электробусов на основании использования новых компоновочных схем их электрических тяговых приводов и компоновочных схем кузовов по размещению управляемого и ведущего мостов и пассажирских дверей. Приведен анализ конкурентоспособности проектов перспективных городских электробусов. Сделаны выводы о перспективных путях их создания.

Ключевые слова: электробус, электрический привод, приводной мост, тяговый электродвигатель, компоновочная схема.

Войтків Станіслав Володимирович¹, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівельник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net,

¹Научно-технічний центр "Автополіпром", 79022, Україна, г. Львів, ул. Городоцька, 174.